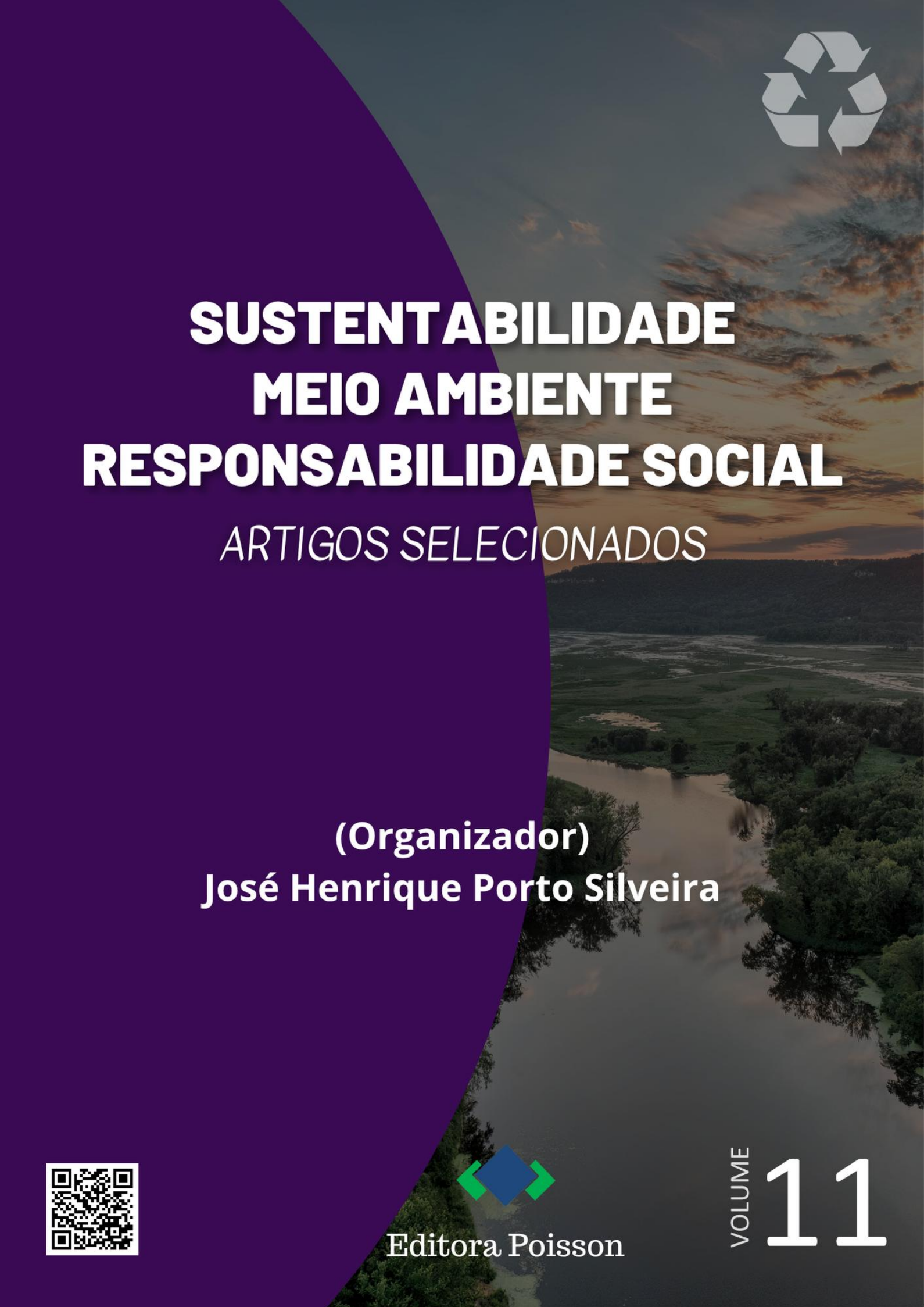


SUSTENTABILIDADE MEIO AMBIENTE RESPONSABILIDADE SOCIAL

ARTIGOS SELECIONADOS

(Organizador)
José Henrique Porto Silveira

Editora Poisson

VOLUME 11

José Henrique Porto Silveira
(Organizador)

Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social:

Artigos Selecionados

Volume 11

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S964
Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social: Artigos Selecionados – Volume 11/ Organização: José Henrique Porto Silveira - Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-601-1
DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Meio ambiente 2. Sustentabilidade. 3. Responsabilidade Social I. SILVEIRA, José Henrique Porto II. Título

CDD-333.72

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Indústria 4.0, economia circular e veículos elétricos..... 06

Maria Luisa Rodrigues da Silva, Francisco Santos Sabbadini, Maria Elisa Rodrigues da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.01

Capítulo 2: Economia circular: critérios de decisão no cotidiano da população do Rio de Janeiro..... 23

Maria Eduarda Halfeld Sena Alves, Christian Monni, Francisco Santos Sabbadini, Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva, Kelly Alonso Costa

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.02

Capítulo 3: Insegurança alimentar e nutricional em estudantes universitários: um estudo na Universidade Federal do Vale do São Francisco..... 44

Carine Almeida Neves de Oliveira, Andrea Marques Sotero, Gabriela Lemos de Azevedo Maia, Adriana Gradela

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.03

Capítulo 4: Eletrocoagulação aplicada no tratamento de efluentes: princípios, funcionamentos e limitações 60

Letícia Fabris, Elvis Carissimi, Salatiel Wohlmuth da Silva,Jandira Leichtweis

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.04

Capítulo 5: Avaliação da remoção de $Al^{3}+$ em efluentes por adsorção contínua utilizando casca de arroz 72

Nathália Wiggers Paiva, Nayara Fonseca Dutra, Lisbeth Zelayaran Melgar, Jorge David Alguiar Bellido

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.05

Capítulo 6: Íons fluoreto em águas: efeitos adversos à saúde humana e aplicação da eletrocoagulação-flotação como técnica de remoção – uma mini revisão..... 86

Luise Barreto Röpke, Ana Carolina Ferreira Piazzi Fuhr, Elvis Carissimi, Salatiel Wohlmuth da Silva, Jandira Leichtweis

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: O potencial campo de trabalho para o profissional biólogo como consultor ou gestor na área ESG 104

Denny William da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.07

Capítulo 8: Desempenho sustentável: fundos ESG frente ao CDI e IBOVESPA 122

Gustavo Gasparetto Choucair, Leonardo Fernando Cruz Basso

DOI: 10.36229/978-65-5866-601-1.CAP.08

Autores 148

Capítulo 1

Indústria 4.0, economia circular e veículos elétricos

Maria Luisa Rodrigues da Silva
Francisco Santos Sabbadini
Maria Elisa Rodrigues da Silva

Resumo: Neste estudo foi analizada a evolução de pesquisas sobre Indústria 4.0, Economia Circular e Veículos Elétricos, com foco especial na convergência entre essas três áreas de conhecimento. A abordagem metodológica foi exploratória por meio de buscas na base de dados Scopus e análise bibliométrica. Os achados revelam que as investigações na interseção temática ainda se encontram em estágio inicia com significativo potencial de expansão. Nesse sentido ser pode verificar que se endereça para pesquisas e estudos relacionados a soluções alinhadas à sustentabilidade, ampliando a capacidade de integração entre inovação tecnológica e práticas de baixo impacto ambiental.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Veículos elétricos, Economia circular, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A transformação digital promovida pela Indústria 4.0 vem redefinindo os processos produtivos por meio de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial e sistemas ciberfísicos. Nesse contexto, a produção de veículos elétricos surge como alternativa para reduzir as emissões e diminuir a dependência de combustíveis fósseis. Entretanto cabe ressalter que este segmento produtivo se encontre diante de desafios relacionados à gestão de resíduos e ao ciclo de vida de componentes, especialmente baterias e motores.

Embora os avanços tecnológicos tenham impulsionado a modernização industrial, persistem lacunas importantes na integração entre automação e os processos de remanufatura e reciclagem, o que ainda restringe a plena adoção de modelos de economia circular. Compreender de que forma as tecnologias da Indústria 4.0 podem otimizar as operações se torna fundamental para fortalecer práticas mais sustentáveis e economicamente viáveis. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo analisar a evolução dos estudos sobre Indústria 4.0, Economia Circular e Veículos Elétricos, com ênfase na convergência temática entre esses campos do conhecimento. Este estudo também buscar aprofundar e expandir o anteriormente realizado por Silva e Sabbadini (2025), evidenciando como a integração desses domínios pode contribuir para cadeias produtivas mais limpas, redução de impactos ambientais e avanços consistentes rumo ao desenvolvimento sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 por meio de uma ação planejada no âmbito das ações do governo alemão por meio do Ministério Federal de Educação e Pesquisa, como um fator decisivo para a ágil propagação e implantação, por meio de um programa que tinha como missão o desenvolvimento de sistemas avançados de produção com foco em aumento da produtividade e da eficiência da indústria alemã (LASI e KEMPER, 2014; FRANK, DALENORE e AYALA, 2019).

Ao integrar um conjunto de tecnologias emergentes e convergentes que agregam valor a todo o ciclo de vida do produto, se instaurou uma nova etapa dos sistemas de produção industrial na qual os conceitos, ideias e abordagens contidas no escopo da Indústria 4.0 estão situados em disciplinas como engenharia elétrica, administração de empresas, ciência da computação, sistemas de informação, engenharia mecânica, dentre outros segmentos importantes para a sociedade ampliando assim seu alcance e impacto (LASI e KEMPER, 2014; FRANK, DALENOGARE e AYALA, 2019).

Lu (2017) e Xu, Xu e Li (2018) acrescentam que o termo foi proposto inicialmente na Alemanha em 2011 na Feira de Hannover e apresenta como principais objetivos o alcance de uma maior eficiência operacional, além de um maior nível de automatização e produtividade, de forma que as cinco principais características da Indústria 4.0 incluem a digitalização, otimização e customização da produção; automação e adaptação; interação homem-máquina; serviços de valor agregado a empresas e troca e comunicação automática de dados.

Foi anunciada oficialmente em 2013 como uma estratégia alemã para assumir um papel pioneiro em indústrias que estão atualmente revolucionando o setor de transformação,

representando a tendência global de tecnologias de automação na indústria de manufatura, incluindo principalmente os Sistemas Ciber-Físicos (CPS), computação em nuvem e Internet das Coisas (XU, XU e LI, 2018).

Outros conceitos de Indústria 4.0 (I4.0) incluem ainda definições como sendo a integração de máquinas e dispositivos físicos complexos com sensores e software, utilizados para prever, controlar e planejar melhores resultados para a sociedade e para os negócios, se configurando em um novo nível de organização e gestão da cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos (LU, 2017).

Segundo Lasi e Kemper, (2014) o termo Indústria 4.0 se refere basicamente a uma ampla de conceitos e tecnologias como: Smart Factory, que consiste na evolução dos processos produtivos, a partir da utilização de tecnologias avançadas provenientes da Indústria 4.0; Sistemas Ciberfísicos, em que os níveis físico e digital se fundem; novos sistemas de produção e compra; novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços; adaptação a necessidades humanas, por meio de novos sistemas de fabricação de produtos e sustentabilidade social corporativa, com foco na eficiência da utilização de recursos.

No contexto da I4.0, os sistemas de produção são atualizados para um nível em que a fabricação usa, combina ou integra tecnologias avançadas de informação e produção a fim de alcançar processos de fabricação que sejam flexíveis, inteligentes e reconfiguráveis, permitindo que todos os processos físicos e fluxos de informação estejam disponíveis quando e onde sejam necessários em cadeias de suprimento, em diversos setores, em pequenas, médias e grandes empresas. Nesse sentido, o uso da Inteligência Artificial (IA), permite que os sistemas de produção aprendam com as experiências (ZHONG et al., 2017).

A I4.0 conhecida como manufatura inteligente, redefine o conceito de "fábrica inteligente", em que o uso de tecnologias digitais avançadas permite uma otimização em tempo real dos processos, reduzindo desperdícios e proporcionando produtos com alto nível de personalização e precisão (LIAO et al., 2017).

Nesse sentido, a transição da manufatura tradicional para o modelo digital representa uma transformação significativa na forma como os processos produtivos são planejados e executados, promovendo a integração de tecnologias avançadas que elevam a eficiência e a capacidade adaptativa das fábricas. Nesse contexto, tecnologias como a automação inteligente, a Internet das Coisas (IoT) e os Sistemas Ciber-Físicos (CPS) desempenham uma função fundamental (OZTMEL E GURSEV, 2020).

Em relação à I4.0 no contexto da economia global e nas operações comerciais relativas a ela, evidencia-se a necessidade de que a Indústria 4.0 aumente consideravelmente o nível global de industrialização, informatização e digitalização da produção para alcançar um maior nível de eficiência e competitividade (XU, XU e LI, 2018).

Com a crescente pressão relacionada às questões climáticas e de sustentabilidade, a Indústria 4.0 tem proporcionado soluções inovadoras para repensar o uso de recursos, especialmente no setor automotivo. Essa transformação, impulsionada pela I4.0, exige cada vez mais que as empresas se adaptem a um ambiente digital em evolução, onde tecnologias de mobilidade como serviço e veículos elétricos desempenham papéis fundamentais (LLOPIS-ALBERT, RUBIO E VALERO, 2021).

Nesse sentido cabe avaliar como a I4.0 tem impulsionado os veículos elétricos (EVs) como uma alternativa promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover um transporte mais limpo, eficiente e sustentável. Os veículos elétricos se tornam uma

alternativa fundamental para minimizar o impacto dos gases poluentes e as mudanças climáticas, desempenhando um papel importante na sustentabilidade do transporte em comparação aos veículos a combustão interna (PAPOUTSOGLOU et al., 2022).

2.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS

A energia é um componente fundamental que deve ser considerado na produção de veículos elétricos. Em uma escala mundial, 26% da energia primária é consumida para fins de transporte, além do fato de que o tráfego de rua representa 74% de todo o setor de transportes em todo o mundo. Os automóveis desempenham um papel de destaque por três motivos, sendo eles: i. os carros dominam o tráfego rodoviário na maioria dos países; ii. as vendas de automóveis representam as maiores taxas de crescimento do mundo; e iii. existem tecnologias alternativas para os sistemas de transmissão disponíveis, ao contrário de caminhões por exemplo. Além desses motivos, no futuro espera-se que o tráfego cresça de forma significativa, principalmente em países em desenvolvimento localizados na Ásia, de modo que o número de veículos no mundo pode chegar a 1 bilhão em 2030 (HELMERS E MARX, 2014).

Um aspecto que deve ser considerado em relação aos automóveis movidos a combustível fóssil, é que além das crescentes emissões de CO2, o motor de combustão interna dos veículos apresenta emissões tóxicas, que poluem o ar e são perigosas para a saúde humana, estimando-se que aproximadamente 2 milhões de mortes prematuras por ano no mundo estão relacionados a isso (HELMERS E MARX, 2014).

Em decorrências das questões ligadas às emissões de CO2 e as relativas aos impactos na saúde humana, os esforços são mais intensivamente direcionados na busca por fontes de energia limpa para viabilizar o abastecimento de milhões de veículos nas estradas todos os dias, viabilizando a mobilidade com redução das emissões e da liberação de substâncias tóxicas para a atmosfera pelos seus motores de combustão interna (WILBERFORCE et al., 2017).

Ainda segundo estes autores, os veículos elétricos são considerados ambientalmente amigáveis, de forma que podem contribuir no processo de redução de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. A maioria das fontes de energia elétrica são provenientes de baterias, ultracapacitores ou células de combustível. Outra vantagem de destaque no que se refere ao custo operacional é a sua redução em comparação a veículos movidos a combustíveis fósseis. De forma geral, Os veículos elétricos são classificados em três categorias, sendo elas a de veículos elétricos movidos a bateria, veículos elétricos de célula combustível e veículos elétricos híbridos.

Os principais componentes de veículos elétricos são a bateria elétrica, motor elétrico e controlador de motor. A estrutura é mais simples em comparação os automovíveis com motor de combustão interna. Além disso, a bateria é carregada com eletricidade quando conectada à rede elétrica por meio de um dispositivo de carregamento o demanda estrutura mas facilita o acesso a fonte já que pode ser carregado na tomada da residência do usário. O carregador é um componente de suma importância nesse processo, sendo que a sua eficiência pode variar entre 60 e 97%, da energia em forma de calor (HELMERS E MARX, 2014).

O motor elétrico é o núcleo e o componente mais importante de um veículo elétrico, de forma que o gerenciamento térmico para motores elétricos vem atraindo cada vez mais atenção do segmento acadêmico e da indústria, pois os motores elétricos necessitam ser

mais potentes e competitivos, com maior torque, maior velocidade e maior potência. Destaca-se que o gerenciamento térmico se tornou essencial a fim de manter a eficiência, durabilidade e segurança dos motores (WANG et al., 2022).

Ainda segundo esse autor com relação aos motores utilizados em carros elétricos, cabe destacar que são de indução de corrente alternada e motores síncronos de imã permanente e apresentam potência típica entre 100 e 200 kW e apresentam diferentes perfis e características operacionais o que aumenta o desafio na definição dos padrão a serem utilizados.

O desenvolvimento de carros elétricos tem sido considerado uma solução importante a fim de enfrentar os desafios enfrentados pela humanidade, contribuindo para uma sociedade neutra em carbono, implicando na redução das emissões e contribuindo na mitigação dos impactos do aquecimento global e das mudanças climática. Segundo Wang et al. (2022) com o desenvolvimento de veículos elétricos, as emissões de gases de efeito estufa podem ser reduzidas em 20% e em mais 40% caso a eletricidade seja produzida por meio de energia renovável.Consequentemente em função disso, o mercado de veículos elétricos indica previsão de crescimento com a estimativa de que 35% das vendas de carros serão provenientes dos carros elétricos até 2040.

Neste contexto a transição de produção de veículos à combustível fóssil para a de veículos elétricos traz novas oportunidades e desafios, especialmente em termos de gestão do ciclo de vida de componentes, como no caso das baterias, e aa gestão do fim de vida dos motores elétricos, requerendo assim estratégias adequadas para o aproveitamento dos materiais valiosos presentes em seus componentes, mitigação dos impactos ambientas, redução da dependência de recursos naturais e ampliação da circularidade dos materiais (KINTSCHER et al., 2020; TIWARI et al., 2021).

2.3. ECONOMIA CIRCULAR

À medida que aumentam as pressões para a redução das emissões de gases de efeito estufa, particularmente o CO2, a economia circular (EC) tem ganhado destaque como modelo de desenvolvimento econômico e como uma alternativa ao atual modelo de produção linear dominante baseado em "pegar, fazer e descartar", que apresenta evidentes efeitos negativos, no que se refere a uma real ameaça à estabilidade de sistemas econômicos e a integridade de ecossistemas naturais, que são essenciais para a sobrevivência da humanidade (GHISELLINI, CIALANI e ULGIATI, 2016).

Problemas envolvendo o meio ambiente, como a perda de biodiversidade, poluição da água, do ar e do solo, esgotamento e uso excessivo da terra estão comprometendo cada vez mais a vida no planeta. Somado a isso, as expectativas da sociedade não são atendidas por diversos motivos, dentre eles o desemprego, vulnerabilidade social e crescentes desigualdades em todo o mundo. Os inúmeros desafios econômicos da sociedade levam a instabilidades financeiras e econômicas cada vez mais frequentes para empresas e a economia como um todo. Para todas as questões citadas envolvendo sustentabilidade, o conceito de Economia Circular vem ganhando força nas agendas dos formuladores de políticas, e se tornando também um importante campo de pesquisa acadêmica (GEISSDOERFER et al., 2017; KIRCHHEN, REIKE e HEKKERT, 2017).

Do ponto de vista de sua evolução as ideias centrais do conceito de Economia Circular emergiram nos anos 1960 e foram discutidas na década de 1970 em diante. Muito do entusiasmo no que diz respeito ao conceito de Economia Circular vem da sua contribuição

com o desenvolvimento sustentável. Por exemplo, a Economia Circular pode reduzir as emissões de CO2 em 48%, criar uma rede de benefícios econômicos em €1,8 trilhões e 2 milhões de empregos até o ano de 2030 na União Europeia. Entretanto, mesmo com o apoio político de várias entidades, a sua implementação ainda está nos primeiros estágios, com a exceção da China (KIRCHER et al., 2018).

Levando em consideração aspectos econômicos, a Economia Circular também pode ser definida como uma economia baseada em um sistema em espiral, que minimiza a matéria o fluxo de energia e a deterioração ambiental sem restringir o crescimento econômico e o progresso (LIEDER e RASHID, 2016).

Em associação com o princípio 3R (redução, reutilização e reciclagem), oriundos da sustentabilidade, pode-se considerar que a Economia Circular tem como componentes centrais do modelo o fluxo circular (fechado) de materiais técnicos e biológicos, assim como o uso de matérias-primas e energia em múltiplas fases e ciclos.

Cabe considerar que dado que os recursos naturais são limitados e que o modelo tradicional de produção e consumo, linear, de um lado no risco de esgotamento e indisponibilidade deles, assim como também na regão de resíduos e de poluição insustentáveis. Nesse sentido ao contrário do sistema linear, a economia circular visa fechar o ciclo de vida dos produtos, incentivando o reaproveitamento contínuo de materiais. Dessa forma, propõe uma abordagem inovadora e distinta para os sistemas organizacionais e operacionais de produção e consumo, com ênfase na recuperação e valorização dos recursos utilizados e estabelecendo um modelo mais sustentável e menos danoso ao meio ambiente (JABBOUR et al., 2018).

A economia circular propõe uma abordagem inovadora para os sistemas de produção e consumo, centrada na recuperação e revalorização dos recursos já utilizados. A economia circular pode ser definida como um “sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter um fluxo circular de recursos, ao recuperar, reter ou agregar valor a esses recursos, ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento sustentável” (ABNT NBR ISSO 59004:2024).

A partir do entendimento desse conceito a investigação acerca da economia circular para os veículos elétricos seja orientada para questões envolvendo eficiência, devido ao fato de que a procura por veículos elétricos vem crescendo consideravelmente. Cabe ainda considerar o fato conforme Montemayor e Chanda (2023) que “atualmente, os recursos e o financiamento não estão examinando e nem abordando o que ocorrerá com a produção de veículos elétricos em escala - mais notavelmente, a produção de resíduos". E isso reforça a necessidade de se integrar a circularidade na cadeia de produção de veículos elétricos, considerando as demandas requeridas relativas ao descarte componentes durante a fase de uso e pós-uso, de modo a assegurar a sustentabilidade em todas as etapas do ciclo de vida do produto.

Buscar melhorias na produção, reutilização e recuperação de materiais que são utilizados para fabricar as baterias a fim de minimizar os danos ao meio ambiente e reduzir as emissões de gases de efeito, levando-se em consideração as análises do ciclo de vida de veículos elétricos. Destaca-se também que a pesquisa atual sobre a economia circular de veículos elétricos tem sido principalmente restrita aos veículos em final de vida, com foco em reciclagem e remanufatura de componentes individuais (REMME E JACKSON, 2023; DENG et al., 2022).

Uma abordagem de Economia Circular faz-se necessária para os veículos elétricos, a fim de reduzir seu impacto ambiental. As baterias e os componentes que contém matérias-primas essenciais são um foco primordial no desenvolvimento de abordagens de Economia Circular nesse setor, considerando estratégias de reciclagem e de reutilização a fim de ampliar a vida útil das baterias de veículos elétricos, assim como de reforma e remanufatura de componentes e motores. Nesse sentido elevando a ciclagem e otimizando o valor no ciclo de vida dos produtos (Richter, 2022).

Entretanto, as estratégias que envolvem a Economia Circular precisam considerar os objetivos das políticas climáticas. A limitação dos fluxos entre fronteiras de veículos usados, com o objetivo de resolver a fuga do valor da Economia Circular deve ser considerada tendo em vista as necessidades de todos os países para a transição dos combustíveis fósseis para combustíveis sustentáveis (Richter, 2022).

Diante do exposto, no que se refere aos veículos elétricos, a economia circular configura-se como um modelo fundamental de produção e consumo, e um sistema econômico, ao possibilitar a reutilização e a reciclagem de seus componentes ao final da vida útil. Esse modelo estabelece um ciclo contínuo de reaproveitamento de materiais e recursos, contribuindo para a redução do desperdício e para a diminuição da demanda por novos recursos naturais nesse segmento produtivo.

Nesse sentido a investigação da convergência temática entre economia circular, Indústria 4.0 e veículos elétricos se mostra fundamental para compreender a evolução, a maturidade e as lacunas do conhecimento científico nesse campo emergente, considerando a rápida transformação tecnológica e as demandas por soluções voltadas para a sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

A abordagem metodológica utilizada consistiu na busca e revisão de artigosrelacionados aos temas em estudo. A busca sistemática na base Scopus, seguida do uso de métodos de análise bibliométrica, permitiu mapear tendências de pesquisa, identificar os principais autores, instituições e países envolvidos, bem como analisar os temas mais recorrentes na literatura. Essa abordagem forneceu uma visão estruturada e quantitativa na interseção da economia circular, indústria 4.0 e veículos elétricos.

Este estudo pode ser caracterizado como pesquisa exploratória utilizando-se uma abordagem bibliométrica, com a finalidade de examinar a evolução e o panorama atual das publicações relacionadas aos temas “Indústria 4.0”, “Veículos Elétricos” e “Economia Circular”. A análise bibliométrica foi empregada para identificar as tendências e características das publicações científicas pertinentes, levando em consideração o número de artigos publicados e os principais tópicos emergentes nessas áreas.

3.1. PERÍODO E FILTROS

A busca foi delimitada ao período de 2014 a 2024, com o objetivo de compreender a evolução das pesquisas nas áreas de interesse. Apenas artigos publicados em periódicos e no idioma inglês foram considerados, visando garantir a padronização e a comparabilidade dos estudos selecionados. A busca foi realizada na base Scopus, em função da disponibilidade de acesso, a disponibilidade de publicações e por ser reconhecida como referência para o tipo de pesquisa adotada neste estudo e em relação aos temas de interesse.

3.2. PROCEDIMENTO DE COLETAS DE DADOS

A busca foi conduzida utilizando uma combinação de palavras-chave, conforme segue: "Industry 4.0" AND "Electric Vehicles" AND "Circular Economy", com as duas primeiras palavras sendo aplicadas em conjunto com "Circular Economy" separadamente, e em seguida as três palavras foram combinadas para capturar tanto estudos focados em cada tema individualmente quanto aqueles que abordam a interseção entre os três tópicos e por fim a combinação das palavras chaves “Industry 4.0” AND “Electric Vehicles”, conforme segue a seguir:

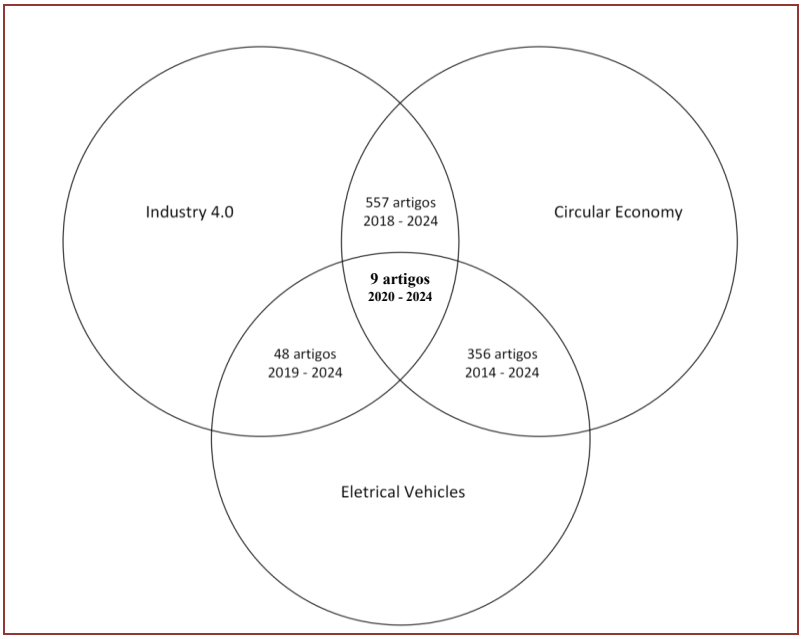
- “Industry 4.0” AND “Electric Vehicles” AND “Circular Economy”
- “Electric Vehicles” AND “Circular Economy”
- “Industry 4.0” AND “Circular Economy”
- “Industry 4.0” AND “Electric Vehicles”

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do procedimento de busca realizado resultou um total inicial de 969 publicações. Após a coleta, os dados foram transferidos para o software Endnote, onde foram organizadas e removidas as duplicatas (24 artigos), resultando numa redução para 945.

Na Figura 1, é possível verificar a quantidade de artigos identificados nas interseções temáticas consideradas na busca. Cabe observar que aparecem agrupados em períodos distintos, como por exemplo Indústria 4.0 e Economia Circular, com 557 artigos contidos no período de 2018 a 2024, indicando a não ocorrência de trabalhos associando os dois temas, na base Scopus, de 2014 a 2017. Também se pode constatar que publicações contendo os 03 temas, no número total de 9, somente aparecem a partir de 2020, sugerindo um estágio inicial de interesses e pesquisas nas questões relacionadas a eles.

Figura 1 - Interseções palavras-chaves



Fonte: Scopus. Elaborado pelos Autores

Para uma melhor compreensão de como se deu essa evolução, a Tabela 1 apresenta a distribuição temporal da quantidade de publicações por combinação de palavras-chave, possibilitando observar o número de artigos identificados nas interseções, distribuída ao longo dos anos de 2014 a 2024.

As colunas da Tabela 1 apresentam como se deu a evolução para cada uma das quatro combinações de busca utilizadas, a saber: “Industry 4.0” AND “Electric Vehicles” AND “Circular Economy” , “Electric Vehicles” AND “Circular Economy” , “Industry 4.0” AND “Circular Economy” e “Industry 4.0” AND “Electric Vehicles”.

Tabela 1 – Evolução do número de publicações por combinação de termos de busca

Ano	“Industry 4.0” AND “Electric Vehicles” AND “Circular Economy”	“Industry 4.0” AND “Electric Vehicles”	“Industry 4.0” AND “Electric Vehicles”	“Industry 4.0” AND Electric Vehicles”
2014	0	0	1	0
2015	0	0	0	0
2016	0	0	2	0
2017	0	0	6	0
2018	0	0	9	7
2019	0	2	15	20
2020	1	5	18	43
2021	1	8	51	94
2022	0	8	60	124
2023	2	10	84	142
2024	5	15	110	127
Total	**9**	**48**	**356**	**557**

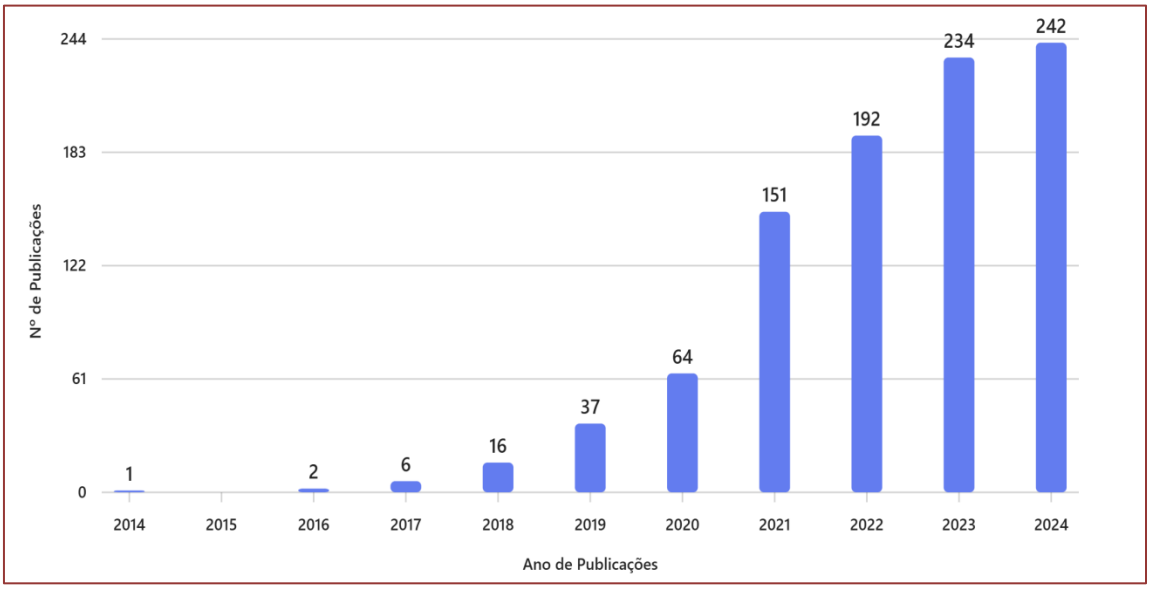
Fonte: Scopus. Elaboração dos autores.

Com o se pode observar na Tabela 1, os estudos publicados associando pelo menos 2 palavras-chave ganhou aceleração a partir de 2019 tendo impulso significativo no que se refere ao número absoluto publicações entre 2021 e 2023. A observação da intersecção entre os três termos Economia Circular, Indústria 4.0 e Veículos Elétricos, apresenta poucas publicações tendo um salto em 2024. Isso sugere que às pesquisas na interseção temática está em estágio embrionário, podendo apresentar potencial de crescimento.

Outro aspecto observado neste estudo se refere à evolução da quantidade de trabalhos publicados conforme mostrado se pode ver Figura 2, que mostra a evolução das publicações relacionadas à Indústria 4.0, Economia Circular e Veículos Elétricos entre 2014 e 2024. Essa análise considerou tanto os valores absolutos quanto as variações comparativas entre os anos, permitindo identificar tendências de crescimento e períodos de maior incremento na produção científica.

Observa-se uma tendência de crescimento, com variações expressivas nos primeiros anos e desaceleração nos últimos. Em 2014, houve apenas 1 publicação (0,11%), enquanto 2015 não registrou artigos. Em 2016, o número subiu para 2 (0,21%), seguido por 6 em 2017 (0,63%) e 16 em 2018 (1,69%). A partir de 2019, o crescimento torna-se mais significativo, com 37 publicações (3,91%), intensificando-se em 2020, quando atingiu 64 (6,77%). O maior incremento ocorre em 2021, com 151 artigos (15,98%), seguido por 192 em 2022 (20,32%). Em 2023, o total chega a 234 (24,76%), e em 2024, 242 publicações (25,61%). Embora o crescimento continue, observa-se uma desaceleração, indicando consolidação do tema na literatura científica.

Figura 2 - Evolução das publicações por ano no período de 2014 a 2024



Fonte: Scopus. Elaborado pelos autores.

Do total de estudos publicados, na interseção entre as áreas temáticas Economia Circular, Indústria 4.0 e Veículos elétricos foram identificados 8 publicação, que foram analisadas e consolidadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Publicações na interseção temática de Economia Circular, I4.0 e Veículos Elétricos

ARTIGO	AUTORES	JOURNAL	ANO	PALAVRAS CHAVES
Recycling 4.0-digitalization as a key for the advanced circular economy	Kintscher, Lars; Lawrenz, Sebastian; Poschmann, Hendrik; Sharma, Priyanka	Journal of Communications	2020	Industry 4.0; Intelligent Systems; Internet of Things (IoT); Recycling; Information Marketplace; Sustainability
A review of circular economy research for electric motors and the role of industry 4.0 technologies	Tiwari, Divya; Miscandlon, Jill; Tiwari, Ashutosh; Jewell, Geraint W.	Sustainability (Switzerland)	2021	Electrical Machines; Circular Economy; Remanufacturing; Industry 4.0
Automotive industry's circularity applications and Industry 4.0	Valladares Montemayor, Halia M; Chanda, Rayyan Hamza	Environmental Challenges	2023	Circular Economy; Sustainability; Electric Vehicles
The possibility of electrification in public transport bus services	Vince Kruchina	Acta Technica Jaurinensis	2023	Electrification; Electric Bus; Public Transport; Zero Emissions; Circular Economy; Vehicle-to-grid; Pilot Project Description
Unveiling barriers to the integration of blockchain-based circular economy and Industry 5.0 in manufacturing industries: A strategic prioritization approach	Kannan, Devika; Amiri, Alireza Shamekhi; Shaayesteh, Maysam Targili; Nasr, Arash Khalili; Mina, Hassan	Business Strategy and the Environment	2024	Blockchain Technology; Circular Economy; Electric Vehicle Battery
Link between sustainable circular supply chain and Internet of Things technology in electric vehicle battery manufacturing industry: A business strategy optimization for pickup and delivery	Sorooshian, Shahryar; Khiavi, Sina Fazel; Karimi, Farzane; Mina, Hassan	Business Strategy and the Environment	2024	Circular Economy; Industry 4.0; Internet of Things (IoT); Optimization; Sustainable Supply Chain
Industry 4.0 and circular economy model for a sustainable electric vehicle battery with controllable wastewater and carbon emission	Thomas, Abin; Mishra, Unakanta	Energy Reports	2024	Carbon Neutrality; Circular Economy; EV Battery Recycling; Industry 4.0; Wastewater Treatment
Implications of circular production and consumption of electric vehicle batteries on resource sustainability: A system dynamics perspective	Ojha, Ravindra; Agarwal, Alpana	Environment Development and Sustainability	2024	Circular Economy; Industry 4.0; Natural Resource; Sustainability; System Dynamics
Tracking mining company electric vehicles for sustainable development optimization using Distributed Ledger Technologies	Hristova, Teodora	Journal of Sustainable Mining	2024	Distributed Ledger Technology; Blockchain; Electric Vehicles; Circular Economy; Sustainable Development

Fonte: Scopus. Elaborado pelos autores

5. ANÁLISE DOS ESTUDOS

Após a consolidação dos estudos descritos na Tabela 2, foi feita a leitura e análise dos mesmos, com foco na convergência entre as áreas de conhecimento Economia Circular, Indústria 4.0 e Veículos Elétricos. Os artigos compilados permitiram identificar uma forte convergência entre economia circular e tecnologias digitais aplicadas ao setor automotivo. Kintscher et al. (2020) propõem um modelo baseado na digitalização para superar lacunas na reciclagem de baterias, utilizando marketplaces de dados e automação robótica. Segundo esses autores a tendência é a criação de ecossistemas digitais que conectem diferentes atores da cadeia de valor, trazendo oportunidades relacionadas com

a comercialização de dados e informações e também nas soluções de interoperabilidade entre sistemas.

Tiwari et al. (2021) revisaram pesquisas sobre economia circular aplicada a motores elétricos, verificando a predominância da reciclagem e identificando os desafios para a remanufatura. Os autores sugerem que "tecnologias como sensores inteligentes e gêmeos digitais podem automatizar processos e reduzir custos" e dessa forma contribuindo para a otimização das operações. Além desses aspectos consideram que ainda faltem metodologias robustas para definir cenários de fim de vida num contexto de circularidade.

Kruchina (2023) apresentou um estudo com a avaliação das possibilidades da eletrificação dos serviços de transportes públicos realizados por ônibus, com foco em redução das emissões por meio do uso de baterias elétricas combinadas com o uso de energia renovável para abastecimento das frotas. Além disso propõe o planejamento dos serviços associado a um modelo de negócio integrado.

Valladares Montemayor e Hamza (2023) analisaram as práticas circulares na indústria automotiva, evidenciando que a Indústria 4.0 atua como catalisadora para estratégias de reuso, reparo e remanufatura. Apesar da tendência consolidada de eletrificação, os autores ressaltam limitações quanto à escalabilidade das práticas circulares, abrindo espaço para soluções baseadas em automação e integração digital.

Kannan et al. (2024) analisaram barreiras à integração de blockchain e Indústria 5.0 na cadeia de baterias, destacando que "a imaturidade tecnológica é o principal entrave para a adoção dessas soluções". Os autores identificaram oportunidades estratégicas relacionadas à criação de políticas de incentivo e à integração com IoT e inteligência artificial, capazes de acelerar a implementação de práticas circulares.

Sorosohian et al. (2024) exploraram a relação entre cadeias de suprimento circulares e tecnologias IoT na indústria de baterias, propondo um modelo de otimização para coleta e entrega. A tendência observada pelos autores é a de que a digitalização é fator-chave para eficiência operacional, embora tenham identificado lacunas relacionadas com a interoperabilidade e com a padronização dos dados. Como oportunidade, os autores propõem a criação de plataformas integradas que conectem transporte, energia e processos industriais.

Thomas e Mishra (2024) propõem um modelo circular para baterias de veículos elétricos, com foco na redução de emissões de carbono e no controle de resíduos hídricos. Os resultados indicam que a integração entre práticas circulares e tecnologias da Indústria 4.0 é essencial para alcançar neutralidade de carbono, mas desafios relacionados à infraestrutura e aos custos iniciais ainda limitam a escalabilidade.

Ojha e Agarwal (2024) utilizaram a Dinâmica de Sistemas para analisar os impactos da produção e consumo circulares de baterias sobre a sustentabilidade dos recursos naturais. Os autores demonstraram que a eficiência no recolhimento é mais determinante que a extensão da vida útil para reduzir a extração de metais virgens, reforçando a importância de soluções digitais que permitam monitoramento em tempo real e tomada de decisão baseada em dados. Segundo esses autores a tendência é a integração entre economia circular e tecnologias digitais, com oportunidades para uso de IoT e Big Data na otimização da logística reversa.

Por fim, Hristova (2024) investigou a aplicação de tecnologias distribuídas na gestão de veículos elétricos em mineração, destacando benefícios como rastreabilidade e redução de emissões. A integração entre blockchain e IoT é apontada como tendência, mas a falta

de padrões regulatórios permanece como lacuna crítica. Como oportunidade, o estudo sugere modelos de negócio baseados na eletrificação e digitalização, capazes de aumentar a eficiência operacional.

Os resultados indicaram que tecnologias digitais, como IoT, blockchain, inteligência artificial e robótica, são fundamentais para viabilizar modelos circulares, enquanto desafios relacionados à infraestrutura, padronização e maturidade tecnológica persistem. A Tabela 3 apresenta uma síntese integrativa apresentando as aplicações, tendência, lacunas e oportunidades identificadas a partir da leitura dos 09 artigos encontrados na busca na base Scopus e que estão na interseção das áreas de conhecimento da economia circular, indústria 4.0 e veículos elétricos.

Tabela 3 – Publicações na interseção temática Economia Circular, I4.0 e Veículos Elétricos

ARTIGO	APLICAÇÕES	TENDÊNCIA	LACUNA	OPORTUNIDADE
Automotive industry's circularity applications and Industry 4.0	• Desenvolvimento de cadeias de suprimento circulares; • Políticas corporativas de sustentabilidade; • Estratégias para reduzir impactos ambientais e aumentar competitividade;	EVs + Indústria 4.0 como pilares da transição sustentável.	Pouca atenção ao ciclo completo do veículo (design, materiais, descarte).	Uso de IA e ferramentas digitais para acelerar a adoção da economia circular.
The possibility of electrification in public transport bus services	• Planejamento estratégico de frotas elétricas; • Integração com sistemas de energia renovável; • Serviços de V2G e economia circular para baterias;	Eletrificação + integração com energia renovável.	Planejamento energético e infraestrutura ainda insuficientes.	Novos modelos de negócio (energia + transporte) e reutilização de baterias.
Unveiling barriers to the integration of blockchain-based circular economy and Industry 5.0 in manufacturing industries: A strategic prioritization approach	• Planejamento estratégico para integração de blockchain e Indústria 5.0; • Desenvolvimento de políticas para padronização e governança; • Benchmarking para modelos de negócio circulares;	Blockchain como habilitador da circularidade e rastreabilidade.	Falta de provedores maduros e modelos escaláveis.	Políticas de incentivo e integração com IoT/IA para acelerar adoção.
Link between sustainable circular supply chain and Internet of Things technology in electric vehicle battery manufacturing industry: A business strategy optimization for pickup and delivery	• Planejamento estratégico para eletrificação em operações de mineração; • Desenvolvimento de redes inteligentes para gestão de frota e energia; • Implementação de sistemas de rastreabilidade para economia circular; • Criação de modelos de negócio baseados em integração transporte-energia;	EVs + Indústria 4.0 como pilares da transição sustentável.	Pouca atenção ao ciclo completo do veículo (design, materiais, descarte).	Uso de IA e ferramentas digitais para acelerar a adoção da economia circular.

Tabela 3 – Publicações na interseção temática Economia Circular, I4.0 e Veículos Elétricos (continuação)

ARTIGO	APLICAÇÕES	TENDÊNCIA	LACUNA	OPORTUNIDADE
Recycling 4.0 – Digitalization as a Key for the Advanced Circular Economy	• Implementação de plataformas digitais para gestão de dados na reciclagem; • Desenvolvimento de robôs inteligentes para desmontagem automatizada; • Criação de modelos de negócio baseados na comercialização de informações; • Integração com sistemas de rastreabilidade para economia circular;	Digitalização + Indústria 4.0 aplicadas à reciclagem; Economia circular baseada em dados e conectividade.	Pouca atenção ao ciclo completo do veículo (design, materiais, descarte)	Uso de IA e ferramentas digitais para acelerar a adoção da economia circular
Implications of circular production and consumption of electric vehicle batteries on resource sustainability: a system dynamics perspective	• Planejamento estratégico para adoção de Economia Circular em cadeias de suprimento de baterias; • Desenvolvimento de políticas públicas para incentivar recolhimento e reciclagem; • Implementação de tecnologias digitais para rastreabilidade e automação; • Criação de modelos de negócio para reuso e segunda vida de baterias;	Integração entre Indústria 4.0 e Economia Circular como pilares para sustentabilidade no setor de EVs.	Baixa eficiência de recolhimento, falta de infraestrutura para reciclagem e ausência de padrões globais para rastreabilidade.	Uso de IoT, IA e blockchain para monitoramento, otimização de processos e criação de marketplaces de dados para baterias.
A Review of Circular Economy Research for Electric Motors and the Role of Industry 4.0 Technologies	• Planejamento de estratégias para remanufatura e reciclagem de motores elétricos; • Desenvolvimento de sistemas automatizados para desmontagem e inspeção; • Criação de modelos digitais (digital twins) para apoiar decisões sobre reutilização ou descarte; • Implementação de sensores para monitoramento em tempo real e extensão da vida útil;	Crescente associação entre economia circular e digitalização, com foco em automação e análise de dados.	Falta de metodologias para escolha do melhor cenário de fim de vida e baixa taxa de reaproveitamento de materiais estratégicos.	Desenvolvimento de novos modelos de negócio baseados em serviços digitais, rastreabilidade de componentes e integração entre setores para reduzir dependência de recursos críticos.
Tracking mining company electric vehicles for sustainable development optimization using Distributed Ledger Technologies	• Planejamento de estratégias para remanufatura e reciclagem; • Desenvolvimento de sistemas automatizados para desmontagem e inspeção; • Criação de modelos digitais para apoiar decisões sobre reutilização ou descarte; • Implementação de sensores para monitoramento em tempo real e extensão da vida útil;	Integração crescente entre economia circular e digitalização, com foco em automação e análise de dados.	Ausência de metodologias para escolha do melhor cenário de fim de vida e baixa taxa de reaproveitamento de materiais estratégicos.	Desenvolvimento de novos modelos de negócio baseados em serviços digitais, rastreabilidade de componentes e integração entre setores para reduzir dependência de recursos críticos.
Industry 4.0 and circular economy model for a sustainable electric vehicle battery with controllable wastewater and carbon emission	• Planejamento de cadeias de suprimento sustentáveis para baterias de veículos elétricos; • Desenvolvimento de sistemas automatizados para produção e reciclagem; • Implementação de tecnologias verdes e processos de purificação hídrica; • Criação de modelos circulares para reduzir desperdícios e emissões;	Indústria 4.0 + Economia Circular como base para neutralidade de carbono; Integração de IoT, robótica e tecnologias verdes.	Pouca atenção à poluição hídrica no ciclo das baterias; Falta de modelos que integrem lucro + sustentabilidade com variáveis múltiplas; Baixa eficiência em processos de reuso/rework.	Desenvolvimento de modelos matemáticos otimizados para lucro e sustentabilidade; Aplicação de IoT + osmose reversa para reduzir poluição; Novos negócios com reuso de componentes e venda de baterias recondicionadas; Uso de algoritmos para otimização de investimentos (robótica, tecnologias verdes).

Fonte: Scopus. Elaborado pelos autores

De forma geral, os estudos indicaram três direcionadores predominantes: digitalização como habilitadora da economia circular, eletrificação como estratégia central e criação de ecossistemas colaborativos para rastreabilidade e gestão eficiente. As lacunas mais críticas estão ligadas à padronização, infraestrutura e maturidade tecnológica, enquanto as oportunidades se concentram na automação, integração digital e desenvolvimento de modelos inovadores que combinem sustentabilidade e viabilidade econômica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos nove estudos permitiu identifica que no que se refere a convergência entre economia circular, indústria 4.0 e veículos elétricos, os recursos tecnológios das tecnologias e da transformação digital, combinas com as tecnologias de eletrificação são elementos fundamentais para a transição sustentável no setor automotivo em direção a circularidade. Embora haja avanços significativos, os resultados deste estudo indicaram que as práticas circulares permanecem concentradas em componentes críticos, como baterias e motores elétricos, deixando lacunas na aplicação em outras partes do veículo. Persistem desafios relacionados à padronização, interoperabilidade, infraestrutura e maturidade tecnológica, que limitam a escalabilidade das soluções propostas.

Por outro lado, os artigos apontam oportunidades estratégicas para superar essas barreiras, incluindo o uso de blockchain para rastreabilidade, IoT e inteligência artificial para otimização de processos, além da criação de marketplaces de dados e modelos de negócio baseados em serviços digitais. A integração entre eletrificação e fontes renováveis surge como eixo fundamental para descarbonização, enquanto investimentos em automação, tecnologias verdes e purificação hídrica demonstram potencial para reduzir impactos ambientais e aumentar a lucratividade.

Por fim, algumas oportunidades para o desenvolvimento de pesquisas futuras incluem: 1. Economia Circular e Design Integrado no que ser refere ao aprimoramento das metodologias para concepção de produtos, processos e serviços desde a sua concepção considerando o fim de vida e os ciclos circulares como reuso, remanufatura e reciclagem; 2. Digitalização e tecnologias habilitadores, com o uso de blockchain proporcionair para a rastreabilidade e transparência na cadeia produtiva; 3. Energia. Estudos prospectivos e avaliação para o desenvolvimento de infraestrutura de carregamento inteligente relacionado de veículos elétricos para operacionalizar esta modalidade de mobilidade; e 4. Novos modelos de negócio que aproveitem o potencial da integração da economia circular e da indústria 4.0 voltados para a mobilidade elétrica.

COMENTÁRIOS ADICIONAIS

No desenvolvimento do presente estudo foram utilizados recursos das inteligências artificiais ChatGpt versão 4.1, para organizar a estrutura geral do capítulo e auxiliar a organização das Tabelas, as quais foram preparadas pelos autores.

Foi utilizado o software Plagius Detector versão para assegurar a autenticidade e originalidade deste do presente estudo.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Economia Circular. NBR ISO 59004, 2024.

[2] DENG, S.; KPODZRO, E.; MAANI, T.s; LI, Z.; HUANG, A.; YIH, Y.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J. W. Planning a circular economy system for electric vehicles using network simulation. ***Journal of Manufacturing Systems***, v. 63, p. 95-106, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.03.003.

[3] FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. ***International Journal of Production Economics***, v. 210, p. 15-26, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

[4] GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? ***Journal of Cleaner Production***, v. 143, p. 757-768, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

[5] GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. ***Journal of Cleaner Production***, v. 114, p. 11-32, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

[6] HELMERS, E.; MARX, P. Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. ***Environmental Science and Pollution Research***, v. 21, n. 14, p. 9973-9982, 2014. DOI: https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14.

[7] HRISTOVA, T. Tracking mining company electric vehicles for sustainable development optimization using Distributed Ledger Technologies. ***Journal of Sustainable Mining***, v. 23, n. 3, art. 8, 2024. DOI: https://doi.org/10.46873/2300-3960.1425.

[8] JABBOUR, A. B. L. de S.; JABBOUR, C. J. C.; GODINHO FILHO, M.; ROUBAUD, D. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. ***Annals of Operations Research***, v. 270, n. 15, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8.

[9] KANNAN, D.; SHAMEKHI AMIRI, A.; SHAAYESTEH, M. T.; NASR, A. K.; MINA, H. Unveiling barriers to the integration of blockchain-based circular economy and Industry 5.0 in manufacturing industries: a strategic prioritization approach. ***Business Strategy and the Environment***, 2024. DOI: https://doi.org/10.1002/bse.3886.

[10] KINTSCHER, L.; LAWRENZ, S.; POSCHMANN, H.; SHARMA, P. Reciclagem 4.0 – digitalização como chave para a economia circular avançada. ***Journal of Communications***, v. 15, n. 9, p. 652-660, 2020. DOI: https://doi.org/10.12720/jcm.15.9.652-660.

[11] KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. ***Resources, Conservation and Recycling***, v. 127, p. 221-232, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

[12] KRUCHINA, V. The possibility of electrification in public transport bus services. Acta Technica Jaurinensis, v. 16, n. 4, p. 158–166, 2023. DOI: 10.14513/actatechjaur.00713.

[13] LASI, Heiner; FETTKE, Peter; KEMPER, Hans-Georg; FELD, Thomas; HOFFMANN, Michael. Industry 4.0. ***Business & Information Systems Engineering***, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4.

[14] LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal. ***International Journal of Production Research***, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017 DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576.

[15] LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. ***Journal of Cleaner Production***, v. 115, p. 36-51, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042.

[16] LLOPIS-ALBERT, C.; RUBIO, F.; VALERO, F. Impacto da transformação digital na indústria automotiva. ***Technological Forecasting and Social Change***, v. 162, p. 120343, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120343.

[17] LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. ***Journal of Industrial Information Integration***, v. 6, p. 1-10, 2017 DOI: https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005.

[18] OJHA, R.; AGARWAL, A. Implications of circular production and consumption of electric vehicle batteries on resource sustainability: a system dynamics perspective. ***Environment, Development and Sustainability***, v. 26, p. 15905-15929, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s10668-023-03279-w.

[19] OZTMEL, E.; GURSEV, S.. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. ***Journal of***

Intelligent Manufacturing, v. 31, n. 4, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8.

[20] PAPOUTSOGLOU, M.; RIGAS, E. S.; KAPITSAKI, G. M.; ANGELIS, L.; WACHS, J. Análise do mercado de trabalho online para a economia verde: o caso dos veículos elétricos. ***Technological Forecasting and Social Change***, v. 177, p. 121517, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121517.

[21] REMME, D.; JACKSON, J.. Green mission creep: The unintended consequences of circular economy strategies for electric vehicles. ***Journal of Cleaner Production***, v. 394, 136346, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136346.

[22] RICHTER, J. L. A circular economy approach is needed for electric vehicles. ***Nature Electronics***, v. 5, n. 1, p. 5-7, 2022. DOI: 10.1038/s41928-021-00711-9.

[23] SILVA, M. L. R. da; SABBADINI, F.S. **Indústria 4.0, Economia Circular e Veículos Elétricos: Integração temática.** In Anais do XI Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção – SAEPRO – EEL, USP, 2025.

[24] SOROSOHIAN, S.; KHIAVI, S. F.; KARIMI, F.; MINA, H. Link between sustainable circular supply chain and Internet of Things technology in electric vehicle battery manufacturing industry: a business strategy optimization for pickup and delivery. ***Business Strategy and the Environment***, 2024. DOI: https://doi.org/10.1002/bse.3905.

[25] THOMAS, A.; MISHRA, U. Industry 4.0 and circular economy model for a sustainable electric vehicle battery with controllable wastewater and carbon emission. ***Energy Reports***, v. 11, p. 4044-4066, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.054.

[26] TIWARI, D. et al. A review of circular economy research for electric motors and the role of industry 4.0 technologies. ***Sustainability (Switzerland)***, v. 13, n. 17, p. 9668, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13179668.

[27] VALLADARES MONTEMAYOR, H. M.; CHANDA, R. Automotive industry's circularity applications and Industry 4.0. ***Environmental Challenges***, v. 12, n. 6, 100725, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100725.

[28] WANG, X.; LI, B.; GERADA, D.; HUANG, K.; STONE, I.; WORRALL, S.; YAN, Y. A critical review on thermal management technologies for motors in electric cars. ***Applied Thermal Engineering***, v. 201, Part A, 117758, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117758.

[29] WILBERFORCE, T.; EL-HASSAN, Z.; KHATIB, F. N.; AL MAKKY, A.; BAROUTAJI, A.; CARTON, J. G.; OLABI, A. G. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. ***International Journal of Hydrogen Energy***, v. 42, p. 25695-25734, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.054.

[30] XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. ***International Journal of Production Research***, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806.

[31] ZHONG, R. Y.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review. ***Engineering***, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ENG.2017.05.015.

Capítulo 2

Economia circular: critérios de decisão no cotidiano da população do Rio de Janeiro

Maria Eduarda Halfeld Sena Alves
Christian Monni
Francisco Santos Sabbadini
Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva
Kelly Alonso Costa

Resumo: Este artigo investiga quais critérios efetivamente orientam consumidores do Rio de Janeiro a considerar opções de economia circular - como reparo, reuso, remanufatura e produtos recondicionados - em um contexto de maior atenção a eventos climáticos extremos. O objetivo é analisar em que medida percepção de risco e confiança modulam a conversão de atitudes pró-ambientais em comportamento de compra, em comparação com preço, qualidade, marca/canal e necessidade/funcionalidade. Adotou-se uma pesquisa de opinião descritiva por meio do Google Forms, com 129 respondentes; a análise foca 120 residentes no estado do Rio de Janeiro. O instrumento combinou perfil sociodemográfico, percepção/conhecimento sobre economia circular e duas questões de ranking (1 = mais importante; 5 = menos importante; sem empates) para explicitar prioridades decisórias. As análises concentram-se em estatística descritiva e ordenação por postos, com desagregações por renda, idade e gênero quando pertinente, além da interação entre as respostas sobre práticas cotidianas e conhecimento sobre o tema, com os fatores de renda, faixa etária e escolaridade. Os resultados descrevem a distribuição das prioridades e sugerem que preço e qualidade tendem a liderar, enquanto confiança/garantia opera como condição para considerar alternativas circulares - especialmente para remanufaturados e recondicionados. A partir do estudo dos dados obtidos também é possível inferir que a amostra apresenta relevante conhecimento sobre o tema e adesão a quantidade significativa das práticas circulares. Conclui-se com implicações para comunicação ao consumidor, garantias dos produtos, transparência informacional e formas de promoção do engajamento e mudança comportamental.

Palavras-chave: Consumo, Percepção, Circularidade, Barreiras, Economia Circular.

1. INTRODUÇÃO

O modelo econômico linear, fundamentado na lógica de "extrair, produzir, usar e descartar", tem demonstrado seus limites ao gerar externalidades negativas de ordem ambiental e social. Em um cenário em que eventos climáticos intensificam a pressão sobre o cotidiano, é patente a urgência de paradigmas produtivos mais resilientes e sustentáveis.

Nesse contexto, a Economia Circular (EC) emerge como alternativa sistêmica que visa preservar valor e aumentar a vida útil de bens por meio de estratégias, como reparo, reuso e recondicionamento, indo além da ecoeficiência tradicional ao organizar "loops" de circularidade e a integridade do produto como princípio de projeto (Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017; Reike; Vermeulen; Witjes, 2018).

A transição, contudo, não depende apenas de tecnologia ou de novos modelos de negócio: ela demanda adesão do consumidor a novas práticas de consumo, sustentada por sinais claros de valor e segurança (White; Habib; Hardisty, 2019).

A crescente conscientização sobre a crise climática tende a tornar os consumidores mais receptivos a alternativas circulares, como reparo, reuso e recondicionado, desde que essas opções sejam percebidas como funcionais, confiáveis e vantajosas (Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017; White; Macdonnell; Dahl, 2011).

No Brasil, essa conversão enfrenta barreiras próprias: baixo conhecimento do público sobre o termo "economia circular" e a necessidade de linguagem simples e sinais de confiabilidade para reduzir incertezas (Cândido; Silva; Baptista, 2021; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025). Além disso, marcos institucionais como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o debate sobre a Política Nacional de Economia Circular (PNEC) começam a moldar expectativas de responsabilidade compartilhada e logística reversa, mas sua efetividade depende de serviços visíveis ao cidadão e comunicação inteligível (Mont'Alverne; Nascimento, 2025; Viana et al., 2025). Este estudo foca, portanto, na população do Estado do Rio de Janeiro, recorte em que desafios socioeconômicos se entrelaçam com a urgência ambiental.

A principal lacuna que motiva esta pesquisa é o conhecido *gap* atitude-comportamento: valorizar o meio ambiente não se traduz automaticamente em adoção de práticas circulares quando qualidade percebida, risco e confiança não estão assegurados (Serra; Alfinito, 2025; Vidal-Ayuso; Akhmedova; Jaca, 2023). A literatura também mostra que *greenwashing* e informação vaga corroem a confiança, enquanto fatos verificáveis e asseguração/garantias sustentam a chamada *green trust* (Chen; Chang, 2013; Grunert; Hieke; Wills, 2014).

Persistem, contudo, lacunas sobre como esses mecanismos se manifestam no contexto brasileiro e, mais especificamente, no cotidiano fluminense, inclusive em cadeias com forte pós-consumo, como embalagens plásticas e eletroeletrônicos (Souza; Guarnieri; Vieira, 2025; Viana et al., 2025). Diante disso, perguntamos: de que maneira a percepção de risco e a confiança influenciam a adesão a produtos e práticas da economia circular pela população do Estado do Rio de Janeiro?

O objetivo geral deste artigo é analisar em que medida percepção de risco e níveis de confiança se configuram como critérios de decisão que influenciam a adesão a produtos da economia circular pela população fluminense, de modo a compreender as principais barreiras e facilitadores para a adoção de um consumo mais sustentável.

Para alcançar esse objetivo, estabelecemos os seguintes objetivos específicos:

- Entender a percepção da importância e o entendimento sobre economia circular;
- Mapear práticas de consumo circular já presentes e identificar o potencial critério de tomada de decisão;
- Propor alternativas viáveis para redução de barreiras e engajamento do público em práticas de consumo circular.

A justificativa da relevância do presente estudo repousa em três planos: No plano acadêmico, contribuição para a literatura centra-se no comportamento do consumidor em economias emergentes ao situar o *gap* atitude-comportamento na realidade brasileira, integrando risco, confiança e transparência como mecanismos perceptivos-chave (Vidal-Ayuso; Akhmedova; Jaca, 2023; Serra; Alfinito, 2025). Já no plano social e ambiental, a identificação de barreiras e gatilhos para adesão à circularidade orienta políticas públicas e campanhas mais eficazes, em linha com a PNRS e a transição setorial (Viana et al., 2025).

No que tange à área mercadológica, os insumos sobre critérios de decisão e sinais de confiabilidade informam modelos de negócio, garantias e estratégias de marketing capazes de superar a desconfiança e agregar valor às soluções circulares (Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017; Voulgaridis et al., 2024). Para aprofundar os fatores que condicionam a decisão do consumidor, recorremos a um arcabouço teórico que explica as relações entre atitude, percepção e comportamento, destacando risco percebido, confiança, transparência da informação e o papel da obsolescência percebida na reconfiguração do valor em contexto circular, temas que estruturam a seção de referencial teórico a seguir (Grunert; Hieke; Wills, 2014; Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017).

O presente trabalho é uma ampliação de outro artigo Monni et al (2025), apresentado em congresso que até a finalização deste, constava em processo publicação. Devido a este fato não há possibilidade de introdução de volume e hiperlink da publicação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. FATORES QUE INFLUENCIAM NO MOMENTO DA COMPRA

Existem 4 fatores fundamentais que influenciam na decisão dos consumidores, são eles: sociais, culturais, pessoais, psicológicos. No quadro a seguir estão alocadas as variáveis de acordo com os fatores:

Figura 1. Fatores influenciáveis na decisão de compra.

Fatores Influenciáveis na decisão de compra			
Sociais	**Culturais**	**Pessoais**	**Psicológicos**
Familiares	Subculturas	Idade	Aprendizagem/Autoconceito
Amigos	Classes sociais	Situação Econômica	Percepção
Colegas de trabalho	-	Estilo de vida	Motivação
Faculdade	-	Ocupação	Atitude

Fonte: Adaptado de (Rocha; Platt, 2015).

No fator cultura é determinante básico nas características comportamentais de uma pessoa visto que uma criança absorve os valores e costumes da sociedade na qual está inserida. Dentre este, está a subcultura que são os grupos que compartilham um mesmo valor e/ou situações e experiências cotidianas. Também está alocada nesta, a variável de classe social, nestas divisões seus integrantes partilham os mesmos costumes e interesses (Rocha; Platt, 2015; Veloso; Almeida, 2011).

Já no fator social encaixam-se as variáveis familiares, amigos, colegas de trabalho e faculdade. Os membros da família desempenham papel fundamental, mesmo sem proximidade com indivíduo analisado podem induzir comportamento inconscientemente, transpassado por gerações. Além disso, colegas de trabalho, amigos e interações no ambiente de ensino, possuem certo grau de influência na decisão de compra, por meio da troca de experiências (Veloso; Almeida, 2011).

O fator pessoal, engloba as variáveis de idade, estilo de vida, situação econômica e ocupação. A idade apresenta bastante alteração no estilo de compra, pois os cidadãos não têm um padrão de consumo semelhante durante toda a vida, seja de roupas, alimentos e entre outros. A ocupação reflete diretamente na escolha de consumo, dependendo da área na qual trabalha o status é uma variável de aceitação, além disto existem vestuários indicados para determinados serviços (Rocha; Platt, 2015; Veloso; Almeida, 2011).

O estilo de vida determina os lugares, necessidades e os gostos de uma pessoa, logo acarretará na padronização por escolha de certos produtos. O consumo também mudará de acordo com a situação financeira, pessoas com maior renda podem optam com maior facilidade por bens de preço maior do que pessoas de renda inferior (Rocha; Platt, 2015).

Os fatores psicológicos, abrangem a percepção, a atitude, motivação e aprendizagem/autoconceito. De acordo com Veloso e Almeida (2011), a força interna condiciona o comportamento das pessoas, impulsionando-as a tomarem certas atitudes de forma a garantir sua segurança e sobrevivência. Já aprendizagem/autoconhecimento ocorre por meio de práticas que modificam os hábitos.

A atitude está relacionada a ação motivada pelos sentidos que identificam algo como positivo ou negativo, podendo ser dificultada a reversão, uma má experiência com um bem ou serviço necessitará de grande investimento de tempo, marketing, novas experiências e em muitos casos de dinheiro para que a pessoa associe o mesmo a um sentimento positivo. Já a percepção variará para cada indivíduo de acordo com crenças, personalidades, entre outras (Veloso; Almeida, 2011).

Embora estes fatores clássicos (culturais, sociais, pessoais e psicológicos) formem a base para qualquer decisão de compra, a transição para a Economia Circular introduz barreiras específicas de alta complexidade. Fatores como a percepção de risco, a confiança na informação e o contexto ambiental ganham relevância crítica, como será detalhado a seguir. Além da definição de EC e de suas estratégias, é útil qualificar o nível de letramento do público sobre o tema.

À luz do debate conceitual, adotamos neste trabalho a noção de letramento em Economia Circular (EC) como a capacidade de reconhecer, compreender e aplicar princípios e estratégias de EC para além da reciclagem, integrando conhecimento, atitudes/valores e competências para ação. Essa leitura dialoga com a tradição de letramento ambiental, que relaciona conhecimento, valores e comportamento pró-ambiental, e ajuda a explicar por que definições restritas aos “3Rs” tendem a estreitar a compreensão pública do conceito e a ofuscar etapas a montante (ecodesign, reparo, reuso, remanufatura) (Kirchherr; Reike;

Hekkert, 2017; Maurer; Bogner, 2020). Assim, quando indicamos adiante que o letramento em EC é parcial, tratamos da insuficiente consolidação desse repertório conceitual-aplicado.

2.2. QUANDO O CLIMA PESA NA DECISÃO DO CONSUMIDOR

Eventos como ondas de calor, chuvas intensas e enchentes estão cada vez mais em debate na sociedade e pressionam o cotidiano das famílias (custos extras, perda de bens, saúde, tempo). Esse cenário tende a tornar-se plausível que consumidores considerem alternativas circulares (reparo, reuso, recondicionado), porém, a literatura indica que, para isso, é essencial perceberem valor e segurança nessas opções (Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017; Cândido; Silva; Baptista, 2021; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025).

As revisões sistemáticas sobre comportamento do consumidor em Economia Circular indicam que a passagem de atitude para comportamento depende de qualidade percebida, risco, confiança e clareza dos benefícios (Vidal-Ayuso; Akhmedova; Jaca, 2023; Serra; Alfinito, 2025), especialmente em contextos de baixo conhecimento do tema e onde a transparência das informações ao consumidor é determinante (Cândido; Silva; Baptista, 2021; Viana et al., 2025; Voulgaridis et al., 2024).

No Brasil, o baixo conhecimento sobre o termo “economia circular” reforça a necessidade de linguagem simples e de sinais de confiabilidade na comunicação (Cândido; Silva; Baptista, 2021; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025). Além disso, a relevância setorial (moda, embalagens, eletroeletrônicos) e a articulação com marcos institucionais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece responsabilidade compartilhada e logística reversa para produtos e embalagens, e a proposta de Política Nacional de Economia Circular (PNEC), em tramitação, que busca integrar princípios de circularidade às políticas e cadeias produtivas, moldam expectativas e barreiras (Gazzola et al., 2020; Mont’Alverne; Nascimento, 2025, 2025; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025; Viana et al., 2025).

Esses arranjos são particularmente relevantes em cadeias com alto teor de pós-consumo, como as de embalagens plásticas e eletroeletrônicos, onde *drivers* e barreiras específicos (como conveniência, canais de retorno e informação clara ao usuário) explicam as variações na aceitação das práticas circulares (Reike; Vermeulen; Witjes, 2018; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025)

A literatura de persuasão aplicada ao consumo sustentável mostra que a saliência ambiental precisa ser traduzida em benefícios concretos e próximos para entrar na decisão cotidiana; mensagens com enquadramento prático e foco em “como fazer” tendem a converter intenção em ação (White; Macdonnell; Dahl, 2011; White; Habib; Hardisty, 2019). No contexto brasileiro, onde preço e desempenho ainda lideram os critérios, a sustentabilidade ganha tração quando vem ancorada em sinais críveis de valor (garantia, devolução, histórico do produto) e comunicada em linguagem simples (Cândido; Silva; Baptista, 2021; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025).

Diante desse pano de fundo, a adesão do consumidor a soluções circulares depende menos de disposições ambientais genéricas e mais de como ele avalia, no momento da escolha, qualidade percebida, risco, confiança e clareza de benefícios antecedentes consolidados tanto em estudos clássicos de comportamento sustentável quanto nas revisões mais recentes sobre consumidor e economia circular (Young et al., 2010; Serra; Alfinito, 2025).

2.3. RISCO E CONFIANÇA: A PONTE ENTRE "ME IMPORTO" E "EU ESCOLHO CIRCULAR"

As RSLs são enfáticas ao apontar o *gap* atitude-comportamento: valorizar o meio ambiente não basta se o consumidor duvida da qualidade, teme defeitos ou percebe incerteza quanto à entrega de valor das opções circulares (Serra; Alfinito, 2025; Vidal-Ayuso; Akhmedova; Jaca, 2023). Em contexto de "clima que pesa", a abertura aumenta, mas a adoção efetiva ocorre quando a solução circular parece tão segura quanto (ou mais que) a linear, amparada por garantia, direito de devolução e credibilidade do canal (Serra; Alfinito, 2025; Souza; Guarnieri; Vieira, 2025).

Evidências brasileiras em eletroeletrônicos mostram que barreiras de informação e logística (onde devolver? quem garante?) alimentam o risco percebido; políticas e comunicação destravadoras são decisivas (Souza; Guarnieri; Vieira, 2025). Já em moda, variações por geração/gênero modulam confiança e adesão, pedindo mensagens segmentadas (Gazzola et al., 2020).

O risco percebido em ofertas circulares é multidimensional, funcional (desempenho/defeitos), financeiro (perda monetária) e de tempo (retrabalho em devoluções), e se reduz com clareza factual verificável, o que, por sua vez, sustenta a *green trust* ao mitigar *greenwashing* (Chen; Chang, 2013; Serra; Alfinito, 2025). Além de barreiras práticas (preço, disponibilidade), barreiras psicológicas (ceticismo, identidade de consumo) ajudam a explicar o *gap* atitude-comportamento mapeado pela literatura (Gleim et al., 2013; Vidal-Ayuso; Akhmedova; Jaca, 2023).

Em termos perceptivos, risco funciona como freio e confiança como liberador: quando sinais de proteção (garantia, devolução) e credibilidade do canal estão claros, a importância atribuída à sustentabilidade encontra espaço para se manifestar na compra (Vidal-Ayuso; Akhmedova; Jaca, 2023; Young et al., 2010).

Como a assimetria informacional é fonte central de risco, o passo seguinte é discutir quais informações e em que formato elevam confiança e clareza de benefícios.

2.4. OBSOLESCÊNCIA PERCEBIDA E INTEGRIDADE DO PRODUTO: RECONFIGURANDO O "VALOR"

Descartar não é só falha técnica; há obsolescência subjetiva (estética, moda, status) que faz o produto "parecer velho" antes de perder função. O design circular propõe preservar integridade do produto (valor em uso) por uma escada de estratégias: Resistir (uso/valorização) → Postergar (manutenção/upgrade) → Reverter (reparo, recondicionado, remanufatura) (Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017).

Sinais de integridade (histórico de intervenção, teste, peça substituída) recompõem o valor percebido e reduzem o risco simbólico associado ao "usado", legitimando a escolha circular. Em setores com forte pressão simbólica (ex.: moda), *storytelling* e apresentação do produto recondicionado influenciam a aceitação (Gazzola et al., 2020).

A decisão de prolongar a vida útil é técnica e simbólica: além de falhas, o "parece velho" corrói valor antes da perda de função. A tríade estratégica de resistir, postergar e reverter, sempre com foco em integridade do produto deve considerar formas de mitigar o sentimento de obsolescência subjetiva do lado dos consumidores (Den Hollander; Bakker; Hultink, 2017).

Em termos comunicacionais, mensagens concretas sobre o que foi feito (revisão, peça substituída, teste) elevam aceitação, especialmente em categorias identitárias, onde estética e narrativa modulam a escolha (Gazzola et al., 2020; Reczek; Trudel; White, 2018; White; Habib; Hardisty, 2019). Do plano do produto e da informação, ampliamos para as condições de contorno que viabilizam (ou travam) a adoção no Brasil.

Em síntese, a fundamentação teórica demonstra que a transição para a EC é mediada por um complexo de percepções do consumidor. A literatura consolida que o "*gap* atitude-comportamento" é explicado por fatores-chave como o risco percebido (funcional, financeiro), a confiança (mitigada pelo *greenwashing* e pela falta de informação), a sensibilidade a preço e qualidade (central no contexto brasileiro) e a valorização da integridade do produto (ligada às práticas de reparo e à obsolescência).

Com base nesta moldura teórica, a metodologia a seguir foi estruturada para quantificar como estes fatores - conhecimento, risco, confiança e práticas - se configuram como critérios de decisão reais para a população do Rio de Janeiro.

3. MÉTODO

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo, cujo objetivo é compreender a adesão às práticas de economia circular pela população do Estado do Rio de Janeiro e, a partir disso, indicar alternativas para reduzir barreiras de adoção, configura-se como pesquisa descritiva, de abordagem quantitativa, com delineamento transversal (corte seccional) e procedimento do tipo pesquisa de opinião on-line (questionário estruturado).

Essa classificação é coerente com o uso de medidas de priorização por ranking e análise descritiva para caracterizar critérios de decisão no consumo (Gil, 2002).

3.2. OBJETO DE ESTUDO

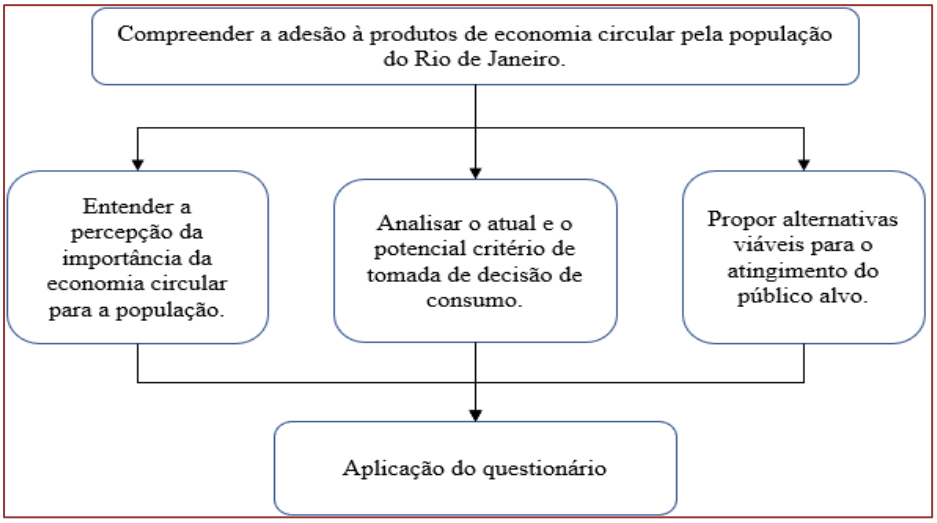
O objeto de estudo (universo da pesquisa) é a população do Estado do Rio de Janeiro. O Rio de Janeiro é uma das 27 unidades de federação do Brasil. Pertencente à região Sudeste, o estado abriga 92 municípios, possui uma extensão territorial de 43.750,425 km^2. No que tange à escolaridade, o estado possui uma das maiores proporções de população com ensino superior do país. Quanto ao rendimento mensal domiciliar per capita, dados de 2023 indicam o valor de R$ 2.490,00 (IBGE, 2024).

A pesquisa foca-se na amostra (não probabilística) obtida através da pesquisa de opinião (IBGE, 2022, 2024).

3.3. AMOSTRA E PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Para alcançar os três objetivos específicos, utilizou-se um questionário com perguntas abertas e fechadas (Ver Apêndice A - Questionário de Pesquisa). A aplicação foi realizada por meio do *Google Forms*, com divulgação via e-mail às universidades e redes sociais (Facebook, Instagram e WhatsApp). Antes da coleta principal, conduziu-se um teste de validação com 20 respondentes para verificar clareza, tempo de resposta e lógica de ramificação; ajustes foram feitos no formulário inicial e essas 20 respostas não foram incluídas na base analisada.

Figura 2. Fluxograma.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

O formulário permaneceu aberto de 14 a 29/10 (15 dias). Ao final desse período, o link foi encerrado e os dados foram exportados e tabulados. No total, 129 pessoas responderam ao questionário, das quais 120 eram residentes do Estado do Rio de Janeiro e foram consideradas válidas para análise; as demais foram excluídas por não atenderem aos critérios de elegibilidade (por exemplo, UF≠RJ, idade <18 ou ausência de consentimento). A seleção das perguntas decorreu de revisão da literatura, com a identificação de itens de maior relevância e aderência aos objetivos deste estudo; entre as fontes utilizadas, destaca-se "Economia Circular: a sustentabilidade e o meio ambiente na percepção do consumidor" (Cândido; Silva; Baptista, 2021).

As perguntas foram agrupadas em cinco blocos: (1) Critérios de inclusão e exclusão; (2) Caracterização da amostra; (3) Entendimento da Economia Circular; (4) Práticas cotidianas; (5) Valor do produto. Embora o instrumento contenha 22 questões, o primeiro bloco funciona como filtro: participantes que não residem no Estado do Rio de Janeiro, têm menos de 18 anos e/ou não concordam com os termos de participação são excluídos automaticamente, recebendo mensagem de agradecimento e sem acesso às questões subsequentes.

Em parte das questões optou-se pela escala Likert de 5 pontos, por permitir a quantificação de percepções originalmente qualitativas e facilitar a tabulação e comparação dos resultados. A adoção de cinco categorias favorece a identificação de um ponto médio e o entendimento das opções, sendo amplamente empregada em estudos de caráter descritivo pelas vantagens já reconhecidas (Martins; Cornacchione, 2021).

É válido comentar que, após as perguntas referentes à presente pesquisa, a Seção 6 pergunta sobre o interesse do respondente em participar da pesquisa em escala mais ampla no futuro. Caso o respondente responda "não", o questionário é encerrado; se a resposta for "sim", o formulário segue para a Seção 7, na qual se informa: *"Para sua ciência, informamos que, em atendimento à legislação de proteção de dados, as informações obtidas nesta pesquisa serão utilizadas apenas com o objetivo de compilação e análise dos resultados, não sendo aplicadas a nenhuma outra finalidade."*

Nessa etapa, requer-se a afirmação de ciência por parte do participante.

Em seguida, solicita-se que informe o e-mail mais utilizado e, por último, pergunta-se se deseja receber o resultado da pesquisa. Para a classificação das respostas obtidas na questão 8, utilizar-se-ão os seguintes critérios:

- Entendimento Alto: respostas que mencionam ambos os aspectos principais: a natureza da mudança (alterações de longo prazo nos padrões climáticos); e a causa (ação humana/antrópica como fator principal ou acelerador, por vezes distinguindo de ciclos naturais).
- Entendimento Médio: respostas corretas, porém parciais, que geralmente mencionam apenas um dos aspectos principais.
- Entendimento Baixo: respostas muito vagas (ex.: "mudança de temperatura" ou "mudança no clima") ou factualmente incorretas (ex.: confundem mudanças climáticas com as estações do ano).
- Para a classificação das respostas da questão 10 (Definição de Economia Circular), serão utilizados os seguintes critérios:
- Conhecimento Alto - entende a EC como um sistema de fechamento de ciclos e dissociação entre atividade econômica e uso/impacto de recursos. Integra elementos como ecodesign (redução a montante), reparo/reativação, reuso/redistribuição, remanufatura, recuperação/reciclagem e eliminação de resíduos (não apenas reciclar).
- Conhecimento Médio - resposta correta, porém parcial, geralmente focada em um único aspecto (p. ex., reciclagem ou gestão de resíduos) sem abordar a lógica sistêmica da EC (ex.: não menciona (re)design, reparo/reativação, reuso/redistribuição, remanufatura ou recirculação ao longo da cadeia).
- Entendimento Baixo: respostas que demonstram desconhecimento do conceito. Inclui respostas como "não sei", confusões conceituais ou respostas muito vagas (ex.: "cuidar do planeta") sem explicitar como isso se relaciona a ciclos de materiais/recursos.

Para as questões 20 e 21, que utilizam a escala Likert (1 -5, sendo "1" o mais relevante), foi empregado o método da ponderação, convertendo-se as respostas em um índice de 0 a 100 com pesos invertidos (1→5, 2→4, 3→3, 4→2, 5→1) e normalização pelo alcance da escala. A fórmula empregada é:

$$\text{Índice} = \frac{(5\,n_1 + 4\,n_2 + 3\,n_3 + 2\,n_4 + 1\,n_5) - N}{4\,N} \times 100$$

Onde: n_1a $n_5$são as contagens em cada ponto da escala e Né o número de respondentes. Índices maiores significam maior relevância, baseado na utilização de pesos baseados em ordem para síntese de prioridades de Barron e Barrett (1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto à questão 9, devido ao elevado número de respostas pouco elaboradas, em grande parte apenas "sim" ou "não", optou-se por desconsiderá-la nesta análise, por não oferecer material suficiente para avaliar em profundidade o conhecimento da população e sua capacidade de diferenciar "Economia Circular" de "Reciclagem". É válido comentar que

essa decisão não inviabiliza o atingimento do primeiro objetivo específico, uma vez que ele é atendido predominantemente pela análise das respostas da questão 10; a Q9 seria utilizada apenas como reafirmação e/ou dado complementar.

Já para a questão 10, observou-se predominância de respostas classificadas como "Entendimento Médio" e "Baixo". Dos 120 respondentes válidos, 58 (48,3%) foram classificados como Baixo, 38 (31,7%) como Médio, e 24 (20%) como Alto. Em síntese, grande parte associa a Economia Circular sobretudo à reciclagem/gestão de resíduos (nível Médio), enquanto um contingente menor apresenta compreensão sistêmica da EC como fechamento de ciclos ao longo do ciclo de vida (nível Alto, com menções a ecodesign/redução a montante, reparo/reativação, reuso/redistribuição, remanufatura e recuperação/reciclagem); casos de definições vagas ou incorretas compõem o grupo Baixo. Assim, a Q10 alimenta o objetivo específico 1 ao evidenciar graus diferenciados de letramento sobre EC e ao distinguir respostas que vão além da reciclagem, embora a compreensão sistêmica ainda seja menos frequente.

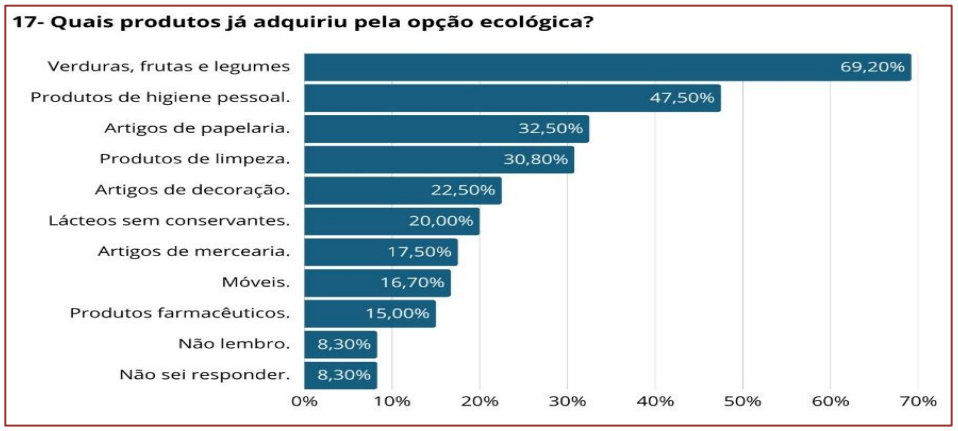
Por meio da análise da questão 11, entendeu-se que 82,83% da amostra considera a reciclagem e a reutilização de produtos de grande importância; apenas 1 indivíduo avalia essas práticas como de baixa importância no cenário estadual atual. Ainda nesse contexto, cerca de 94,20% acreditam que a forma e o local de descarte de produtos e embalagens influenciam eventos ambientais extremos, como enchentes. No recorte desta amostra, mesmo com conhecimento conceitual limitado sobre EC (Q10), observa-se elevada consciência sobre consequências ambientais (Q11).

Por meio de perguntas que avaliam a maneira como os indivíduos lidam com bens materiais (Q13, Q14 e Q18), pode-se inferir que, embora uma parcela significativa (40%) entenda que bens remanufaturados possuem qualidade equivalente à de bens novos, a maioria (60%) não confia ou não relata evidências suficientes de adesão - somatório de "Não" (26,7%), "Não sei responder" (20%) e "Não acredito se for eletrônico" (13,3%) na Q13. Para contextualizar o comportamento declarado, 82,5% afirmam consertar e continuar usando quando um bem apresenta defeito (Q14), e 91,7% dizem não trocar aparelhos apenas por lançamento (Q18).

Diante disso, esses dados permitem margem para duas interpretações plausíveis do perfil observado: (i) há elevada consideração com o uso de recursos naturais e, por consequência, com o meio ambiente, embora ainda sem aprofundamento nos termos e práticas sustentáveis/circulares; e (ii) parte dessas condutas parece estar mais associada a hábitos culturais e/ou razões financeiras do que a uma motivação ambiental explícita.

No tocante aos critérios de decisão de compra, as questões 15 a 17, 19 e 20 contribuem para identificar as características valorizadas. A frequência de aquisição de produtos sustentáveis não é elevada, já que muitos respondentes indicam compra "às vezes". Quanto às motivações para comprar por ser uma opção ecológica, as categorias "Não lembro", "Últimos 3 meses", "Último ano", "Não sei responder" e "Últimos seis meses" somam mais de 56%. A questão 17, apresentada a seguir, indica maior escolha de alimentos e produtos de higiene pessoal, o que pode ser explicado pela busca por opções percebidas como mais saudáveis (por exemplo, alimentos orgânicos) e pela maior disponibilidade de alternativas "verdes" nessas categorias.

Figura 3. Produtos que adquirem por ser opção ecológica.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Um quesito de destaque nas respostas do questionário que se refere ao ato de compra é a qualidade do bem. De acordo com os respondentes, há predisposição a pagar mais por produtos de empresas com produção orientada à preservação ambiental, desde que a qualidade seja igual ou superior à oferecida por empresas que não adotam tais práticas. Essa preferência aparece nas respostas da questão 20, em que apenas os itens “qualidade”, “preço” e “necessidade/funcionalidade” registraram percentual de relevância acima de 50%.

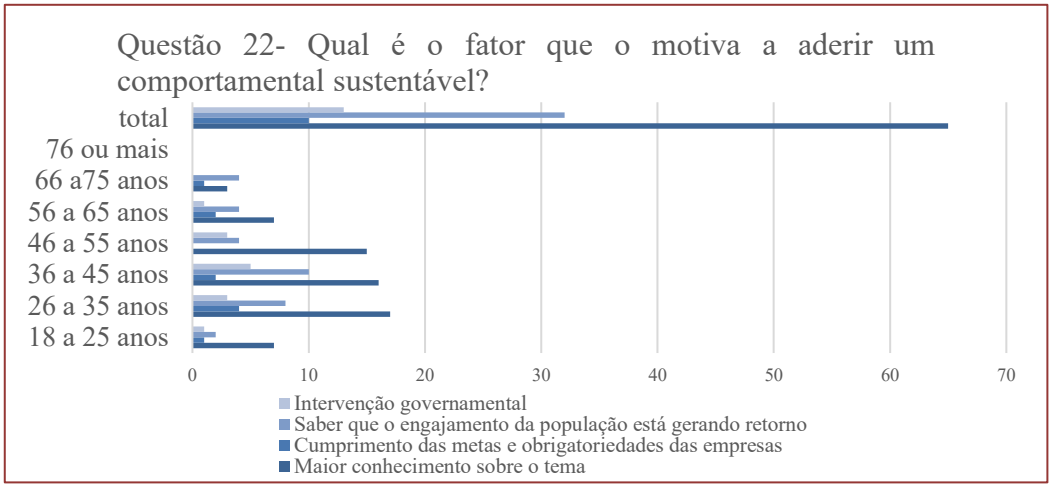
Por fim, as questões 21 e 22 investigam a adesão ao comportamento sustentável e circular. Na Q21 (características mais importantes que uma empresa deve apresentar em relação às práticas de proteção ambiental), os resultados foram bastante próximos entre si, como ilustrado a seguir.

Figura 4. Características empresariais importantes, práticas de proteção ambiental.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Quanto à adesão individual (Q22), o item mais escolhido foi "maior conhecimento sobre o tema": 54,20% da amostra indica que é necessário ampliar divulgação e investimento em educação sobre a relevância dos temas ambientais e das práticas associadas à economia circular e à proteção dos ecossistemas. Em seguida, "Saber que o engajamento da população está gerando retorno" (26,70%), "Intervenção governamental" (10,80%) e "Cumprimento das metas e obrigatoriedades das empresas" (8,30%).

Figura 5. Fator de motivação para adesão do comportamento sustentável.



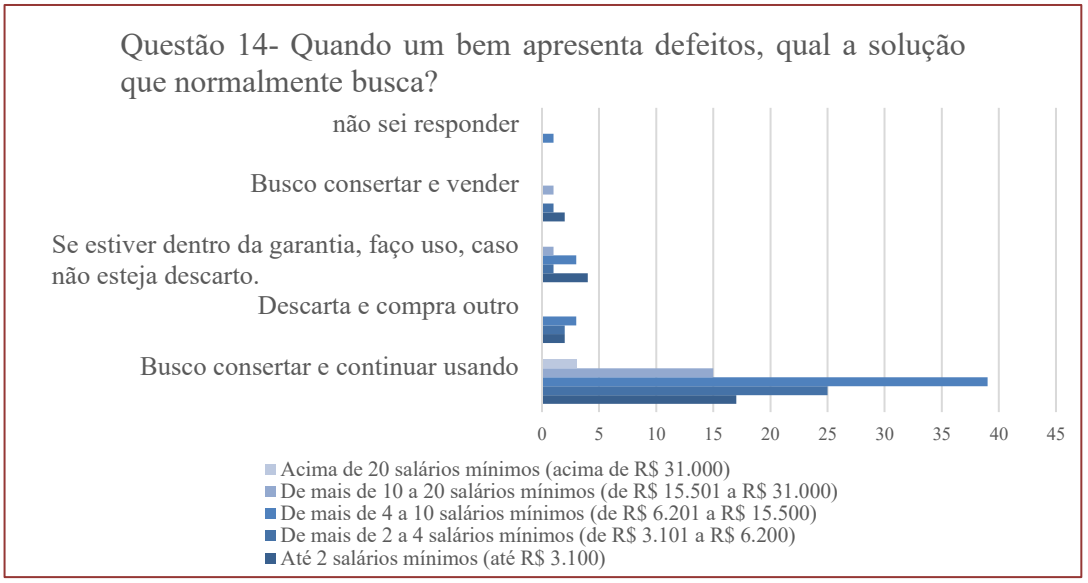
Fonte: Elaborado pelos autores.

O fator decisivo, na maioria das idades, é o "maior conhecimento sobre o tema". Isto demonstra o distanciamento da população com os deveres de proteção e cuidado do meio ambiente, um reflexo de resquícios das revoluções industriais e do consumismo, que estiveram no palco de interesse cotidiano.

A maioria das faixas de idades, exceto na "76 anos ou mais" a qual nenhum dos respondentes se enquadrou e "66 a 75 anos", o segundo fator de maior relevância é o "Saber que o engajamento da população está gerando retorno", isto comprova a importância do investimento de projetos de apoios e de integração da população a preservação e adoção de práticas sustentáveis. Já na faixa etária de 66 a 75 anos, estes dois fatores se invertem, demonstrando que para este perfil de respondentes, o mais importante é a integralização de comunidades a favor de um objetivo comum.

Apesar de os fatores "cumprimento das metas e obrigatoriedade das empresas" e intervenção governamental não terem sido tão escolhidos e não aparecerem em todas as faixas de idade, a sua presença nas respostas reafirma a sua importância, porém é viável citar que este perfil da amostra acredita que a mudança de comportamento está mais relacionada a capacidade da população permanecer direcionada e focada a proteção ambiental, que a iniciativa deve ser incitada por esta, pois a mesma apresenta um potencial maior para mudança de mentalidade do que apenas ações isoladas do governo e empresas. Diante disto, pode-se inferir que este perfil de respondentes acredita que majoritariamente a forma correta de promover uma mudança comportamental está no investimento de ensino e engajamento da população.

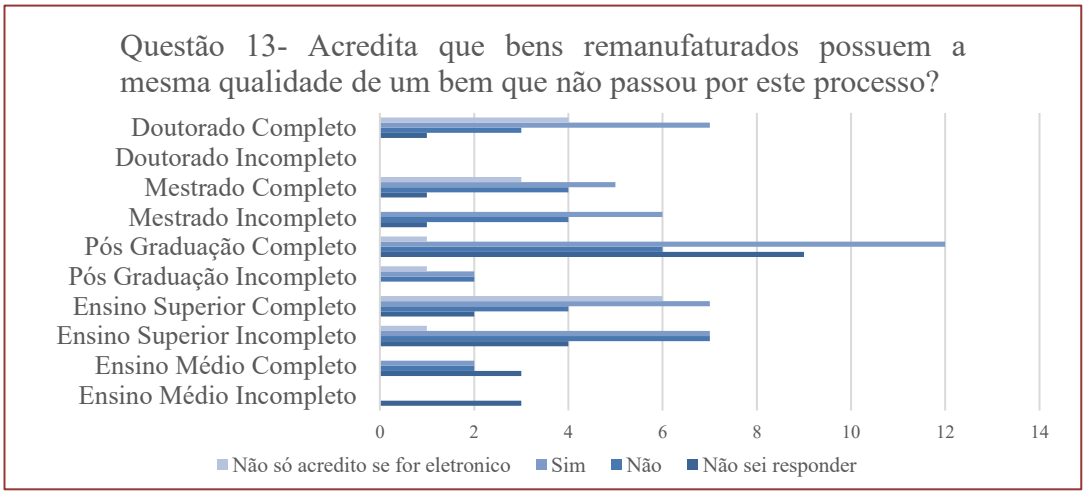
Figura 6. Um bem apresenta defeitos, qual a decisão escolhida.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados apresentados permitem o entendimento de que, predominantemente, o perfil desta amostra busca consertar os bens e continuar usando. Uma pequena parcela busca descarta e comprar, consertar e vender ou preocupa-se em fazer uso da garantia, porém a motivação pode estar na cultura da população e/ou apego ao bem.

Figura 7. Qualidade dos bens remanufaturados segundo o nível de escolaridade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os participantes que possuem o ensino médio incompleto afirmam não saber responder se há alteração da qualidade entre os bens. Os que tem ensino médio completo, em sua maioria não sabem responder. Já quantitativo dos que acreditam e dos que não acreditam na igualdade da qualidade entre os bens remanufaturados e os que não passaram por este

processo é a mesma, isto é reflexo da falta de interação e baixa introdução dos conhecimentos e termos relacionados a economia circular nas etapas básicas da educação.

Nas categorias de respondentes que possuem ensino superior incompleto e completo, a crença na remanufatura se mostra presente, sendo os itens com maiores valores, porém os itens "não sei responder", "não acredito se for eletrônico" e não acredito, ainda são consideravelmente elevados. Isto pode ser explicado pelo fato de que estes receberam instrução e se aproximaram seja, nas instituições de ensino, no trabalho ou mesmo pelos meios de comunicação, com a economia circular e algum dos termos referentes a mesma, porém resultou em um aprofundamento raso.

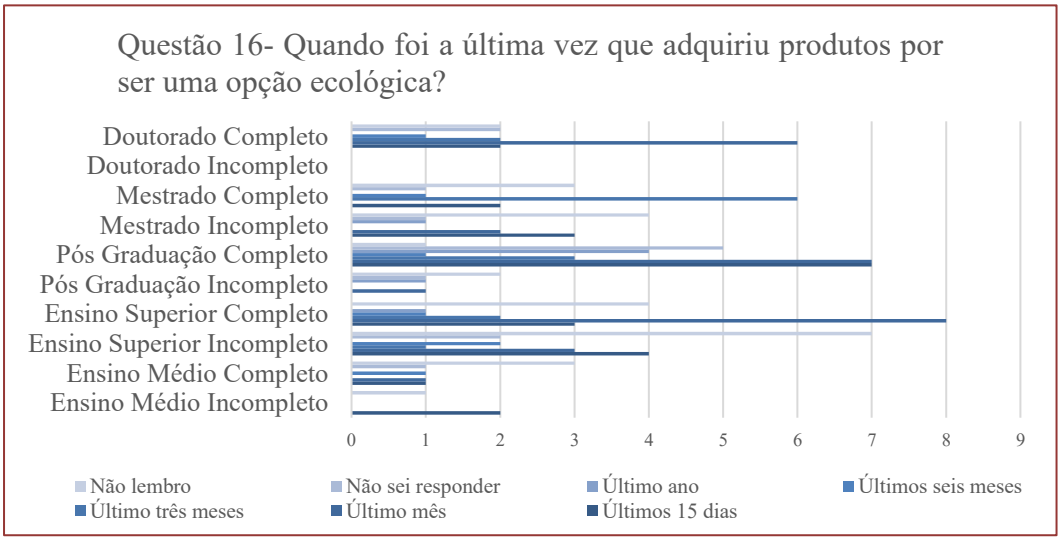
Pela quantidade de respondentes com pós graduação incompleto ser baixo, incapacita a afirmação de que é o perfil da população do Rio de Janeiro para este grau de escolaridade.

Os que possuem pós graduação completo apresentaram acreditar na qualidade de bens remanufaturados como maior item, porém como o quantitativo nos demais níveis são significativos a definição de pessoas com pós graduação tende a ser mais adeptas a economia circular não pode ser empregada, pois seria necessário um aprofundamento para entender se estas respostas possuem ligação direta ao curso que estes possuem ou se engloba como um fato para este nível de escolaridade.

Respondentes com mestrado incompleto, completo e doutorado completo apresentaram o item com maior quantidade de resposta, "acreditar na qualidade do bem", porém os outros itens ainda mostram número considerável de respostas. Este resultado pode sofrer influência do curso que estudaram.

Já quanto a categoria "doutorado incompleto", não houve respondentes.

Figura 8. Última vez que adquiriu bens por ser uma opção ecológica.



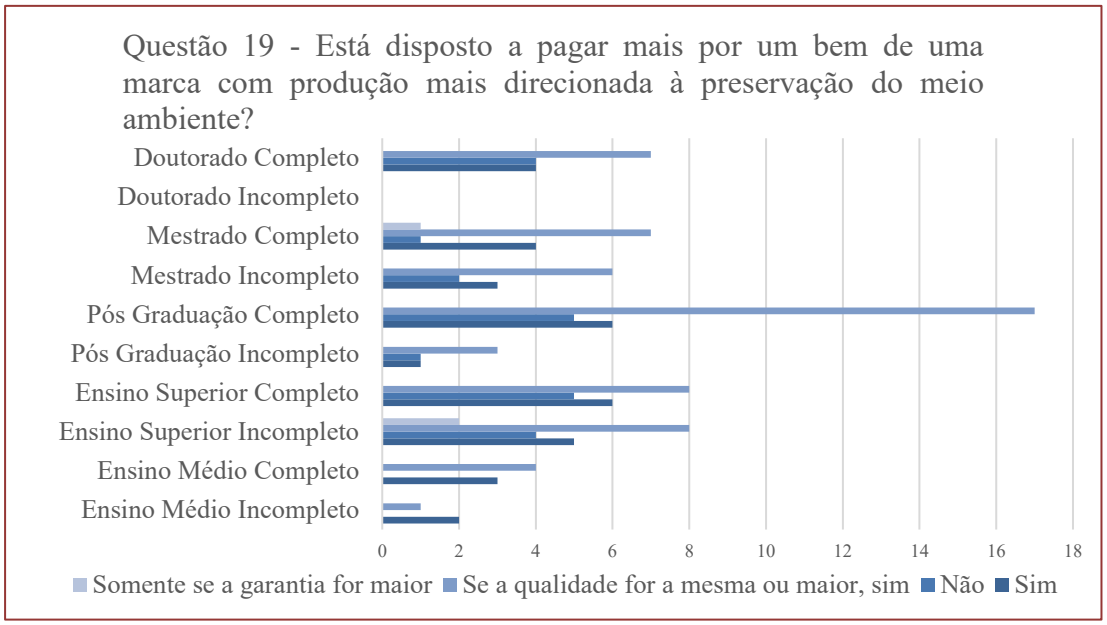
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os respondentes do ensino médio incompleto, em suma, adquiriram bens por ser uma opção ecológica nos 15 dias, o restante não lembrava. Apesar de os respondentes que possuem o ensino médio completo, se igualarem nos itens "no último mês" e "últimos 15 dias" o que apresentou maior quantidade de respostas foi "últimos seis meses".

Uma explicação plausível é que estes podem ter outras preferencias de compra, ou ainda que os valores destes bens sejam mais elevados, inviabilizando a sua compra.

Na maioria dos graus de escolaridade o item não lembro é se não o mais assinalado, um dos com grande incidência de escolha. Isto demonstra a baixa preocupação deste perfil em escolher itens apenas por serem uma opção ecológica. Apenas na Pós graduação completa que o item "não lembro" possui baixa incidência de marcações.

Figura 9. Compra de bens com produção direcionada à preservação ambiental.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Exceto os participantes que possuem o ensino médio completo, os demais acreditam que a qualidade do produto que estão adquirindo é decisiva para a escolha, logo, um bem que possua uma produção direcionada a preservação do meio ambiente deve fornecer o mesmo nível de qualidade ou mais, que bem, cuja produção não é direcionada à proteção ambiental. Além disso, majoritariamente, a garantia não é fator decisivo de compra.

Apesar de grande parte dos participantes estar disposta a pagar a mais por um bem com uma produção mais ambientalmente correta, existe ainda uma parcela significativa que o preço é primordial na decisão. Diante disto, faz-se necessária o surgimento de tecnologias e o investimento em pesquisa e desenvolvimento de forma a garantir que estes sejam mais acessíveis à população.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa apontam que há consciência de sustentabilidade e reconhecimento dos efeitos do modelo linear (p. ex., descarte inadequado e eventos extremos), mas o letramento Economia Circular (EC) ainda é parcial, com o conceito frequentemente reduzido à reciclagem (Q10). O que emerge, portanto, é um espaço de crescimento: existe abertura condicionada para ofertas circulares desde que se preservem qualidade e confiança, coerente com as prioridades (Q20: qualidade, preço e

necessidade/funcionalidade) e com a predisposição a pagar mais quando a qualidade é igual ou superior às alternativas não circulares (Q22).

Os resultados da pesquisa revelam comportamentos já aderentes à lógica circular que podem ser potencializados. A maioria declara consertar para continuar usando (82,5%) e não substituir por mero lançamento (91,7%). Esses padrões indicam baixa tolerância ao descarte precoce e disposição a estender a vida útil, uma base concreta para acelerar a circularidade via serviços de reparo/remanufatura, disponibilidade de peças, manuais de manutenção e logística reversa visível, desde que acompanhados por garantias claras/estendidas e comunicação de desempenho e durabilidade.

É perceptível que uma parcela significativa da amostra já é adepta à práticas condizentes ao comportamento circular, visto que existe preocupação com o meio ambiente e com o descarte de materiais, logo, há expectativa da adesão completa caso não seja só uma tendência, tornando possível uma mudança cultural.

Com base na análise dos resultados do presente estudo, algumas ações práticas podem ser consideradas, quanto aos seguintes aspectos:

- Educação e sensibilização: traduzir EC em linguagem cotidiana, mostrando o ciclo completo (ecodesign, reparo, reuso, remanufatura, reciclagem) e a relação causa-efeito com benefícios concretos ao consumidor;
- Redução do risco percebido: garantias e evidências de qualidade para recondicionados/remanufaturados; selos confiáveis; pontos de reparo e logística reversa integrados ao ponto de venda/e-commerce;
- Políticas e mercado: compras públicas circulares, requisitos mínimos de circularidade e incentivos a servitização (contratos de manutenção, leasing), alinhando proposta de valor circular aos critérios já centrais (qualidade e preço).

A partir de uma população modelo e eficiente a promoção da cultura circular é facilmente exemplificada, aceita e difundida. Apesar desta tendência, paulatinamente apresentar maior senso de urgência e naturalidade de introdução, não se exclui o papel do governo, empresas e instituições midiáticas e de ensino fomente na viabilização de a atividades e ações circulares para todas as faixas etárias, de escolaridade e de renda, tornando-as acessíveis e culturalmente entronizadas.

Como agenda de pesquisa futura, identificamos a necessidade de aprofundamento em questões mais pessoais do cotidiano e da história dos respondentes, como questões mais detalhadas quanto a cultura e formação a fim de mapear com maior clarividência a origem da adesão das práticas circulares e a partir de então desenvolver planos pertinentes para cada cenário social e cultural.

Em síntese, quando conhecimento e confiança caminham juntos, a circularidade deixa de ser exceção e se torna escolha competitiva, com ganhos concretos para empresas, cidadãos e ecossistemas.

REFERÊNCIAS

[1] BARRON, F. Hutton; BARRETT, Bruce E. Decision Quality Using Ranked Attribute Weights. **Management Science**, v. 42, n. 11, p. 1515–1523, nov. 1996.

[2] CÂNDIDO, Wesley Pereira; SILVA, Heloísa Helena Duarte; BAPTISTA, José Abel Andrade. ECONOMIA CIRCULAR: a sustentabilidade e o meio ambiente na percepção do consumidor. **FATEC Zona**

Leste, nov. 2021.

[3] CHEN, Yu-Shan; CHANG, Ching-Hsun. Greenwash and Green Trust: The Mediation Effects of Green Consumer Confusion and Green Perceived Risk. **Journal of Business Ethics**, v. 114, n. 3, p. 489–500, maio 2013.

[4] DEN HOLLANDER, Marcel C.; BAKKER, Conny A.; HULTINK, Erik Jan. Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 517–525, jun. 2017.

[5] GAZZOLA, Patrizia *et al.* Trends in the Fashion Industry. The Perception of Sustainability and Circular Economy: A Gender/Generation Quantitative Approach. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 2809, 2 abr. 2020.

[6] GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

[7] GLEIM, Mark R. *et al.* Against the Green: A Multi-method Examination of the Barriers to Green Consumption. **Journal of Retailing**, v. 89, n. 1, p. 44–61, mar. 2013.

[8] GRUNERT, Klaus G.; HIEKE, Sophie; WILLS, Josephine. Sustainability labels on food products: Consumer motivation, understanding and use. **Food Policy**, v. 44, p. 177–189, fev. 2014.

[9] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados (2022): Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>. Acesso em: 23 set. 2025.

[10] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados (2024): Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>. Acesso em: 23 set. 2025.

[11] KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221–232, dez. 2017.

[12] MARTINS, G.; CORNACCHIONE, E. Editorial: Item de Likert e Escala Likert. **Revista Contabilidade Vista & Revista**, v. 32, n. 1, p. 1–5, 2021.

[13] MAURER, Michaela; BOGNER, Franz X. Modelling environmental literacy with environmental knowledge, values and (reported) behaviour. **Studies in Educational Evaluation**, v. 65, p. 100863, jun. 2020.

[14] MONNI, C.; ALVES, M. E. H. S.; SABBADINI, F. S.; PAIVA, R. da P. de S.; Costa, K. A. ECONOMIA CIRCULAR: CRITÉRIOS DE DECISÃO NO COTIDIANO DA POPULAÇÃO DO RIO DE JANEIRO. IX Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo -USP, Lorena, São Paulo, 2025.

[15] MONT'ALVERNE, Tarin Cristino Frota; NASCIMENTO, João Ricardo Holanda do. A ECONOMIA CIRCULAR E SUA RELAÇÃO COM A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS: INOVAÇÃO OU RISCO DE RECICLAGEM DAS POLÍTICAS QUE FICARAM NO PAPEL? **Veredas do Direito " Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 22, p. e222800, 24 abr. 2025.

[16] RECZEK, Rebecca Walker; TRUDEL, Remi; WHITE, Katherine. Focusing on the forest or the trees: How abstract versus concrete construal level predicts responses to eco-friendly products. **Journal of Environmental Psychology**, v. 57, p. 87–98, jun. 2018.

[17] REIKE, Denise; VERMEULEN, Walter J. V.; WITJES, Sjors. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 246–264, ago. 2018.

[18] ROCHA, R. A. da; PLATT, A. A. **Administração de Marketing**. 3. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2015.

[19] SERRA, Letícia Salazar; ALFINITO, Solange. Consumer Behavior in the Circular Economy: A Systematic Review of High-impact Studies. **Circular Economy and Sustainability**, 8 ago. 2025.

[20] SOUZA, Raphael Salviano De; GUARNIERI, Patricia; VIEIRA, Bárbara De Oliveira. DESAFIOS DA TRANSIÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL. **Revista de Administração de Empresas**, v. 65, n. 4, p. e2024- 0194, 2025.

[21] VELOSO, H. S.; ALMEIDA, J. L. de. **Marketing em Agronegócio**. Montes Claros, MG: Universidade Estadual de Montes Claros; Ministério da Educação, 2011.

[22] VIANA, Fernando Luiz Emerenciano *et al.* **Peer review report for: Transition to circular economy in the Brazilian plastic industry supply chain.** Zenodo, , 3 jul. 2025. Disponível em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.15794771>. Acesso em: 22 set. 2025

[23] VIDAL-AYUSO, Fàtima; AKHMEDOVA, Anna; JACA, Carmen. The circular economy and consumer behaviour: Literature review and research directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 418, p. 137824, set. 2023.

[24] VOULGARIDIS, Konstantinos *et al.* Digital product passports as enablers of digital circular economy: a framework based on technological perspective. **Telecommunication Systems**, v. 85, n. 4, p. 699–715, abr. 2024.

[25] WHITE, Katherine; HABIB, Rishad; HARDISTY, David J. How to SHIFT Consumer Behaviors to be More Sustainable: A Literature Review and Guiding Framework. **Journal of Marketing**, v. 83, n. 3, p. 22–49, maio 2019.

[26] WHITE, Katherine; MACDONNELL, Rhiannon; DAHL, Darren W. It's the Mind-Set that Matters: The Role of Construal Level and Message Framing in Influencing Consumer Efficacy and Conservation Behaviors. **Journal of Marketing Research**, v. 48, n. 3, p. 472–485, jun. 2011.

[27] YOUNG, William *et al.* Sustainable consumption: green consumer behaviour when purchasing products. **Sustainable Development**, v. 18, n. 1, p. 20–31, jan. 2010.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

(1) Critério de inclusão e exclusão:

1- Concorda em participar da pesquisa (anônima)? ( ) Sim; ( ) Não.

2- Informe sua Unidade de Federação (UF):

() AC; () AL; () AP; () AM; () BA; () CE; () DF; () ES; () GO; () MA; () MT; ()MS; () MG; () PR; ()PE; ()PI; ()RJ; ()RN; () RS; () RO; () RR; () SC; () SP; () SE; () TO.

3- É adulto? (Possui idade superior ou igual a 18 anos) ( ) Sim; ( ) Não.

(2) Caracterização da amostra:

4- Pertence a qual faixa etária?

()18 a 25; ()26 a 35; ()36 a 45; ()46 a 55; ()56 a 65; ()66 a 75; ()76 anos ou mais.

5- Informe seu sexo: ( ) Feminino; ( ) Masculino.

6- Qual seu nível de escolaridade?

() Fundamental incompleto; () Fundamental completo; () Ensino médio incompleto;

() Ensino médio completo; () Ensino superior incompleto; () Ensino superior completo; () Pós-graduação incompleto; () Pós-graduação completo; () Mestrado incompleto; () Mestrado completo; () Doutorado incompleto; () Doutorado completo.

7- Qual a sua faixa de renda familiar mensal?

( ) até 2 salários-mínimos (até R$ 3.100); ( ) De mais de 2 a 4 salários-mínimos (de R$ 3.101 a R$ 6.200); ( ) De mais de 4 a 10 salários-mínimos (de R$ 6.201 a R$ 15.500); ( ) De mais de 10 a 20 salários-mínimos (de R$ 15.501 a R$ 31.0000); ( ) Acima de 20 salários-mínimos (acima de R$ 31.000).

(3) Entendimento de Economia Circular:

8- O que são mudanças climáticas? _____

9- Acredita que economia circular e reciclagem são a mesma coisa? _____

10- O que é economia circular? _____

11- Em sua opinião é importante reciclar e reutilizar produtos? (Cândido; Silva; Baptista, 2021).

( ) Muito importante; ( ) Importante; ( ) Pouco importante; ( ) Não sei responder.

12- Acredita que a forma e o local onde se descarta produtos e embalagens, influencia nos eventos ambientais extremos? ( ) Sim; ( ) Não; ( ) Não sei responder.

(4) Práticas cotidianas:

13- Acredita que bens remanufaturados possuem a mesma qualidade de um bem que não passou por este processo?

( ) Sim; ( ) Não; ( ) Não acredito se for eletrônico; ( ) Não sei responder.

14- Quando um bem apresenta defeitos, qual a solução que normalmente busca? ( ) Busco conserto, para vende-lo e comprar outro novo; ( ) Busco consertar e continuar usando; ( ) Descarto e comprou outro com maior qualidade; ( ) Se estiver dentro da garantia, faço uso, caso não esteja descarto; ( ) Não sei responder.

15- Com que frequência adquiri produtos sustentáveis?

( ) Frequentemente; ( ) Às vezes; ( ) Raramente; ( ) Não sei responder.

16- Quando foi a última vez que adquiriu produtos por ser uma opção ecológica?

( ) Últimos 15 dias; ( ) Último mês; ( ) Últimos 3 meses; ( ) Últimos seis meses;

( ) Último ano; ( ) Não sei responder; ( ) Não lembro.

17- Quais produtos já adquiriu pela opção ecológica? ()Verduras, frutas e legumes; ()Artigos de papelaria; ()Produtos de limpeza; ()Produtos de higiene pessoal; ()Artigos de mercearia; ()Artigos de decoração; ()Lácteos sem conservantes; ()Produtos farmacêuticos; ()Móveis; ()Não sei responder; ()Não lembro.

(5) Valor do produto:

18- Costuma trocar um aparelho em bom estado por outro por ser lançamento?

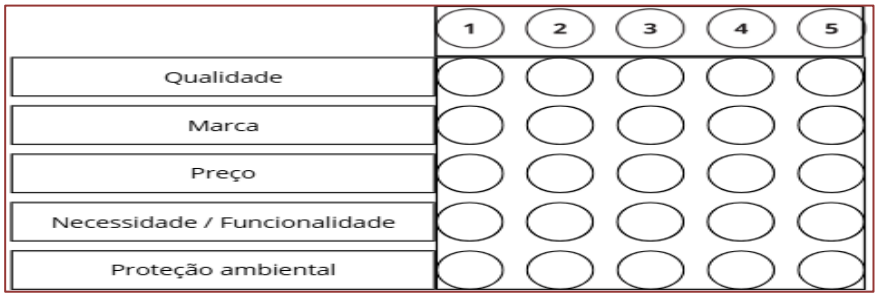
( ) Sim; ( ) Não; ( ) Apenas smartphone; ( ) Apenas aparelhos de comunicação.

19- Está disposto a pagar mais por um bem de uma marca com produção mais direcionada à preservação do meio ambiente? (Cândido; Silva; Baptista, 2021).

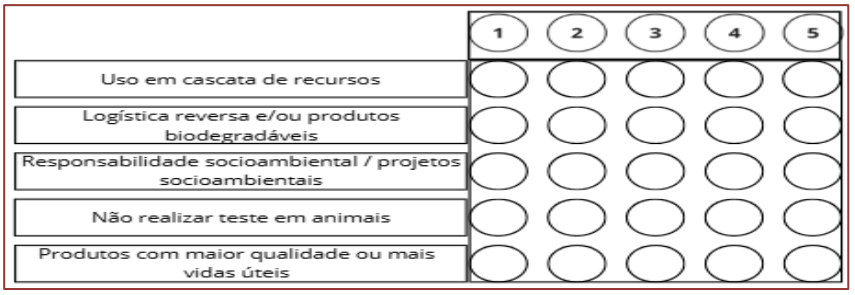
( ) Sim; ( ) Não; ( ) Se a qualidade for a mesma ou maior, sim; ( ) Somente se a garantia for maior.

20- Em uma escala de 1 a 5 (Sendo "1" muito importante e "5" baixa importância), faça um **ranking** sobre o que o motiva a escolher um produto.(Cândido; Silva; Baptista, 2021).

Ranking sem empates: cada número 1-5 só pode ser usado uma vez.



21- Considerando que uso em cascata de recurso ocorre quando um recurso ou material é utilizado em várias etapas de cadeia de produção, de forma a adiar o descarte ou reciclagem final (ou seja, em uma escala de 1 a 5 (Sendo "1" muito importante e "5" baixa importância), faça um **ranking** das características mais importantes uma empresa deve possuir, em relação às práticas de proteção ambiental? (Cândido; Silva; Baptista, 2021).



22- Qual é o fator que o motiva a aderir um comportamento sustentável?

( ) Maior conhecimento sobre o tema; ( ) Intervenção governamental;

( ) Cumprimento das metas e obrigatoriedades das empresas;

( ) Saber que o engajamento da população está gerando retorno.

Capítulo 3

Insegurança alimentar e nutricional em estudantes universitários: um estudo na Universidade Federal do Vale do São Francisco

Carine Almeida Neves de Oliveira
Andrea Marques Sotero
Gabriela Lemos de Azevedo Maia
Adriana Gradela

Resumo: Este estudo investigou a prevalência e os determinantes da insegurança alimentar e nutricional (ISAN) entre estudantes universitários da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizada no Semiárido nordestino, no período pós-pandêmico. A metodologia conjugou abordagem quantitativa, com aplicação da Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (EBIA) e questionário semiestruturado a 116 estudantes da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). A análise, baseada na Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (EBIA), revelou prevalência de ISAN de 68,10%, com 22,41% em nível severo, indicando que aproximadamente um em cada cinco estudantes vivencia fome manifesta. Os resultados evidenciam múltiplas camadas de vulnerabilidade interligadas, incluindo predominância de mulheres, elevada proporção de estudantes negros (pardos e pretos), renda familiar insuficiente, ausência de proteção social e persistência dos efeitos da pandemia de COVID-19. A desconexão entre a elevada proporção de estudantes em ISAN e a baixa cobertura de programas de assistência estudantil (apenas 37,93% com auxílios complementares) revela falha institucional e limitações orçamentárias que comprometem a garantia de direitos fundamentais. O Restaurante Universitário emerge como política estratégica de permanência, mas sua cobertura insuficiente reforça a necessidade de expansão e fortalecimento. Conclui-se que o enfrentamento da insegurança alimentar entre universitários demanda ações intersetoriais articuladas, integrando políticas educacionais, sociais e econômicas, incluindo ampliação de auxílios estudantis, combate ao racismo estrutural, redução das desigualdades de gênero e investimento em desenvolvimento regional.

Palavras-chave: insegurança alimentar; assistência estudantil; Semiárido; desigualdades sociais; permanência universitária.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1930, Josué de Castro denunciava a insuficiência das análises sobre alimentação como questão social fundamental. Esse debate, longe de estar superado, permanece urgente e atual. A necessidade de reestruturação profunda do sistema alimentar global exige a implementação de políticas públicas robustas que garantam a soberania alimentar e a Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) dos povos, especialmente das populações vulneráveis (Silva, 2023).

No contexto brasileiro, o conceito de SAN foi institucionalizado pela Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional (LOSAN) de 2006, que a define como a efetivação do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer outras necessidades básicas. A concepção apresentada enfatiza a necessidade de considerar a diversidade cultural e assegurar a sustentabilidade nas dimensões ambiental, econômica e social (Brasil, 2006).

Enquanto a SAN representa a garantia do direito humano à alimentação adequada, a Insegurança Alimentar e Nutricional (ISAN) expressa as profundas desigualdades sociais que permeiam as sociedades contemporâneas. A ISAN manifesta-se pela ausência de acesso contínuo a alimentos em quantidade e qualidade satisfatórias, acompanhada pela incerteza quanto à manutenção desse acesso futuro, impactando também a capacidade de aquisição de outros bens e serviços essenciais à vida digna (Aguiar; Padrão, 2022).

Os dados epidemiológicos são alarmantes. Entre 2018 e 2020, o Brasil registrou aproximadamente 9,6 milhões de pessoas vivendo em domicílios com privação alimentar severa (Rede Penssan, 2021). Embora o relatório "Estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Mundo 2025 (SOFI 2025)", divulgado pela FAO, IFAD, UNICEF, WFP e WHO (2025), tenha anunciado a saída do Brasil do Mapa da Fome, com menos de 2,5% da população em risco de subnutrição, os indicadores atuais ainda permanecem acima dos níveis pré-pandêmicos. Essa persistência reflete os efeitos contínuos da inflação dos alimentos e a dificuldade de retomada plena da SAN (ONU, 2025).

A pandemia de COVID-19 provocou rupturas significativas no setor educacional, com suspensão das atividades presenciais e adoção emergencial de formatos remotos. No ensino superior público, essa interrupção acarretou o fechamento dos Restaurantes Universitários (RUs)—equipamentos críticos para a garantia da SAN dos estudantes—agravando vulnerabilidades preexistentes. Segundo Araújo *et al.* (2021), jovens universitários vivenciaram elevada incidência de insegurança alimentar durante a crise sanitária, potencializada por fatores como redução de renda familiar, desestruturação das rotinas acadêmicas e insuficiente suporte institucional. Os impactos transcenderam a dimensão nutricional, repercutindo em comprometimento da saúde mental, queda no desempenho acadêmico e risco de abandono da formação superior. De Melo *et al.* (2025) demonstram que a ISAN se configura como obstáculo relevante à equidade educacional, interseccionando questões de classe social, gênero e raça.

A universidade pública, enquanto instituição de formação crítica e profissional, possui responsabilidade ética e social de refletir sobre e intervir nas condições concretas que afetam sua comunidade estudantil. Incorporar a discussão sobre ISAN no ambiente acadêmico transcende o aspecto meramente assistencial; constitui-se como ato político de fortalecimento dos direitos humanos e ampliação do debate sobre desigualdades estruturais.

Nesta perspectiva, produzir dados técnico-científicos sobre a prevalência e os determinantes da ISAN em populações universitárias mostra-se essencial para subsidiar políticas públicas e institucionais voltadas à promoção da SAN no ensino superior. A relevância desta pesquisa repousa justamente na geração de evidências que orientem intervenções eficazes, garantindo permanência estudantil com dignidade e qualidade de vida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL (ISAN): PERSPECTIVA DE DIREITOS HUMANOS

O enfrentamento da ISAN no Brasil constitui desafio multidimensional que extrapola abordagens setoriais isoladas. Demanda articulação entre políticas de incremento de renda familiar e ações estruturantes do Estado, capazes de assegurar o acesso regular, permanente e digno à alimentação adequada. Essa perspectiva fundamenta-se no reconhecimento do Direito Humano à Alimentação Adequada (DHAA) como componente indissociável do conjunto universal de direitos humanos, consagrado em instrumentos internacionais e na legislação brasileira.

A fome e a ISAN, portanto, devem ser compreendidas como violações de direitos fundamentais, e não apenas como expressões de carência material ou ausência de solidariedade social (Garajau; Afonso, 2014).

2.2. INSEGURANÇA ALIMENTAR (ISAN) EM POPULAÇÕES UNIVERSITÁRIAS: UMA LACUNA NA LITERATURA

A ISAN entre estudantes do ensino superior no Brasil permanece como problemática subexplorada na produção acadêmica, particularmente no que concerne às especificidades regionais e às determinantes socioeconômicas que atravessam essa população (Voss *et al.*, 2024). Apesar de o Brasil contar com aproximadamente 10 milhões de estudantes matriculados em instituições de ensino superior (públicas e privadas), o acesso à universidade é frequentemente interpretado como oportunidade de mobilidade social e transformação de trajetórias de vida.

Contudo, a permanência estudantil enfrenta múltiplos obstáculos estruturais, entre os quais destaca-se a dificuldade de acesso contínuo e digno à alimentação adequada. Essa vulnerabilidade repercute em indicadores preocupantes de evasão, abandono acadêmico e comprometimento da saúde geral dos discentes. A reprodução de desigualdades no interior das instituições educacionais evidencia que o acesso formal à universidade não garante, por si só, equidade nas condições de permanência.

2.3. RESTAURANTES UNIVERSITÁRIOS COMO POLÍTICA DE EQUIDADE

Os Restaurantes Universitários (RUs) emergem como equipamentos essenciais para a efetivação do DHAA e para a promoção de equidade no ensino superior. Enquanto ferramentas de política pública, os RUs transcendem a função meramente assistencial, configurando-se como dispositivos de garantia de direitos e de permanência estudantil qualificada.

Entretanto, a gestão descentralizada dos RUs, consequência da autonomia universitária, dificulta a sistematização de dados nacionais sobre funcionamento, cobertura e impacto sobre políticas de permanência. Embora o Ministério da Educação (MEC) detenha competência legal para realizar levantamentos estruturados, a produção de conhecimento sobre a temática tem se concentrado em iniciativas de pesquisa vinculadas a programas de pós-graduação e grupos acadêmicos específicos, criando lacunas significativas no conhecimento sistemático sobre o tema (Nakamura, 2024).

2.4. EVIDÊNCIAS INTERNACIONAIS SOBRE INSEGURANÇA ALIMENTAR UNIVERSITÁRIA

A ISAN entre universitários não constitui fenômeno isolado ou exclusivo do contexto brasileiro. A literatura internacional revela padrões preocupantes em diferentes contextos nacionais, sempre marcados pela intersecção entre pobreza, mobilidade social e desigualdades estruturais.

Chaparro *et al.* (2009), em investigação conduzida no Havaí, evidenciaram que estudantes residentes em alojamentos universitários enfrentam níveis significativamente superiores de ISAN quando comparados àqueles que residem com os pais. Este achado é particularmente relevante, pois indica que a saída do domicílio familiar, embora representando desenvolvimento pessoal e autonomia, frequentemente implica maior vulnerabilidade alimentar—especialmente quando os estudantes provêm de famílias com menor poder aquisitivo.

Dubick, Mathews e Cady (2016), em estudo abrangente sobre segurança alimentar entre universitários nos Estados Unidos, revelaram que estudantes de primeira geração—isto é, primeiros de suas famílias a ingressarem no ensino superior—apresentam probabilidade significativamente maior de vivenciar ISAN. Este resultado evidencia o papel determinante das desigualdades intergeracionais, sugerindo que a falta de experiência familiar com a vida universitária amplifica vulnerabilidades socioeconômicas preexistentes.

Nikolaus *et al.* (2020), ao compilarem dados de múltiplas instituições norte-americanas, registraram prevalências de ISAN entre universitários varISANdo de 41% a 48%, contrastando drasticamente com a média nacional de 14% na população geral dos Estados Unidos. Essa disparidade ressalta a especificidade da população universitária como grupo particularmente vulnerável, desafiando narrativas que associam acesso ao ensino superior com superação automática de vulnerabilidades.

2.5. INSEGURANÇA ALIMENTAR EM UNIVERSIDADES BRASILEIRAS: DADOS PRÉ-PANDEMIA

No contexto brasileiro, Angotti e Zangirolani (2022) revelaram que 63,8% dos estudantes universitários enfrentaram algum grau de ISAN no período pré-pandêmico, índice alarmantemente superior à média nacional de 36,7% registrada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Esta comparação evidencia que estudantes do ensino superior constituem grupo com vulnerabilidade alimentar desproporcional em relação ao restante da população brasileira.

Os dados brasileiros, quando comparados com evidências internacionais, situam-se em patamar similar ou superior ao observado em universidades norte-americanas, apesar de

o país apresentar contextos socioeconômicos distintos (Dubick *et al*., 2016*;* Reynolds *et al*., 2018*;* Nikolaus *et al.*, 2020). Tal constatação reforça a compreensão de que a ISAN em populações universitárias é estrutural, resultando de desigualdades sociais profundas e de políticas insuficientes de assistência estudantil, não podendo ser atribuída a fatores isolados ou conjunturais.

2.6. INSEGURANÇA ALIMENTAR (ISAN) COMO PROBLEMA DE SAÚDE PÚBLICA

A convergência de evidências nacionais e internacionais estabelece a ISAN entre universitários como problema de saúde pública que exige respostas sistemáticas e intersetoriais. Políticas isoladas de cunho assistencial mostram-se insuficientes; demanda-se articulação entre setores de educação, assistência estudantil, saúde e agricultura familiar, capaz de operacionalizar mudanças estruturais nas condições de vida dos discentes.

Nesta perspectiva, a alimentação deve ser compreendida simultaneamente como direito fundamental inalienável e como fator determinante material do desempenho, permanência e sucesso acadêmico. A qualidade da alimentação impacta não apenas a saúde física, mas também a capacidade cognitiva, concentração, saúde mental e engajamento acadêmico dos estudantes (Araújo *et al.*, 2024).

2.7. O CONTEXTO INSTITUCIONAL: RESTAURANTES UNIVERSITÁRIOS NA UNIVASF

A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) constitui-se como instituição de ensino superior federal responsável pela oferta de educação pública, gratuita e de qualidade em região de significativa vulnerabilidade socioeconômica. Neste contexto, a instituição conta com três Restaurantes Universitários (RUs) estrategicamente distribuídos nos campi Petrolina Sede, Ciências Agrárias (CCA) e Juazeiro-BA, representando investimento institucional na promoção de equidade estudantil.

Os RUs integram o Programa de Assistência Estudantil (PAE), coordenado pela Pró-Reitoria de Assistência Estudantil (PROAE), cujo objetivo institucional é promover a segurança alimentar e nutricional da comunidade acadêmica. O PAE operacionaliza-se por meio de processos seletivos periódicos, garantindo acesso equitativo aos equipamentos de assistência de acordo com critérios de vulnerabilidade socioeconômica.

A modalidade de assistência de maior relevância para este estudo é a Prioridade 1 (P1), destinada a discentes de graduação presencial cuja renda familiar per capita não ultrapasse um salário-mínimo e meio. Estudantes contemplados nesta modalidade pagam valor reduzido de R$ 1,50 por refeição e têm direito a até 10 refeições semanais, compreendendo café da manhã, almoço e jantar, com limite de duas refeições diárias, de segunda a sexta-feira.

Esta estrutura de acesso, embora represente importante política de assistência, não esgota a demanda existente, evidenciando que a cobertura atual dos RUs se mostra insuficiente para atender a totalidade de estudantes em situação de vulnerabilidade alimentar. A proposição de ampliação de vagas constitui-se como necessidade institucional premente.

3. METODOLOGIA

3.1. DELINEAMENTO E TIPO DE ESTUDO

Realizou-se estudo de abordagem quantitativa, com caráter descritivo e analítico, utilizando delineamento de corte transversal. Esta estratégia metodológica permite a caracterização de fenômenos em determinado momento temporal, possibilitando identificar a prevalência de ISAN e seus determinantes na população estudantil, sem estabelecer relações causais diretas. O corte transversal é particularmente adequado para estudos descritivos de prevalência, permitindo captar "fotografia" da situação no momento da coleta de dados.

Nota: Este capítulo de livro apresenta os dados iniciais da pesquisa, correspondentes à primeira fase de coleta.

3.2. POPULAÇÃO E CONTEXTO DE ESTUDO

3.2.1. INSTITUIÇÃO E CAMPI

A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), instituição de ensino superior pública federal localizada na região do Semiárido nordestino. A UNIVASF operacionaliza suas atividades acadêmicas em três campi principais:

- Campus Petrolina Sede (Petrolina-PE)
- Campus de Ciências Agrárias (CCA, Petrolina-PE)
- Campus Juazeiro (Juazeiro-BA)

Estes campi distribuem-se estrategicamente em dois estados (Pernambuco e Bahia), atendendo a população estudantil regional com cursos de graduação presenciais em diversas áreas do conhecimento.

3.2.2. POPULAÇÃO-ALVO

A população-alvo foi composta por estudantes regularmente matriculados em cursos de graduação presenciais nos três campi da UNIVASF. Essa população representa o universo de possíveis participantes elegíveis para a pesquisa, independentemente de características sociodemográficas específicas.

3.3. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DA AMOSTRA

Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão para participação na pesquisa:

1. Idade igual ou superior a 18 anos para garantir maioridade legal e capacidade de consentimento autônomo,
2. Matrícula ativa no semestre à época da coleta de dados, assegurando vínculo institucional formalizado,
3. Utilização do Restaurante Universitário (RU) na modalidade P1, indicando vulnerabilidade socioeconômica reconhecida pela instituição e renda familiar per capita de até um salário-mínimo e meio,

4. Consentimento voluntário e informado através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e do Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para Fins de Pesquisa, garantindo participação fundamentada em compreensão clara dos objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa.

A seleção de estudantes usuários do RU na modalidade P1 foi estratégica, uma vez que este grupo representa a população com maior vulnerabilidade socioeconômica identificada pela instituição. Esta delimitação permite análise aprofundada das determinantes da ISAN em população particularmente suscetível, fornecendo dados que subsidiem políticas de assistência direcionadas.

3.4. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

O projeto foi submetido à Plataforma Brasil e avaliado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da UNIVASF (CEP/HU-UNIVASF), órgão responsável pela revisão ética de protocolos de pesquisa envolvendo participantes humanos. A pesquisa recebeu aprovação conforme parecer nº 7.086.398, atestando conformidade com normas éticas estabelecidas pela Resolução CNS nº 510/2016 e demais legislação aplicável.

3.5. INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

3.5.1. ESCALA BRASILEIRA DE INSEGURANÇA ALIMENTAR (EBIA)

O instrumento principal para avaliação de ISAN foi a Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (EBIA), desenvolvida pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo e validada para população brasileira. A EBIA é questionário padronizado constituído por 15 itens que investigam experiências e percepções relacionadas ao acesso à alimentação adequada nos três meses anteriores à coleta de dados. Os itens cobrem dimensões como:

- Preocupação ou incerteza quanto ao acesso futuro a alimentos,
- Redução de quantidade de alimentos consumidos,
- Redução da qualidade e variedade alimentar,
- Experiência de fome,
- Impactos em membros do domicílio, especialmente crianças.

A pontuação da EBIA resulta em classificação hierárquica em quatro categorias mutuamente exclusivas (Quadro 1). A EBIA permite, portanto, não apenas identificar presença/ausência de ISAN, mas também estratificar a severidade da situação, indicando gradações de vulnerabilidade alimentar.

Quadro 1: Classificação hierárquica da Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (EBIA).

Classificação	Interpretação
Segurança Alimentar (SAN)	Acesso regular e permanente a alimentos de quantidade e qualidade adequadas,
Insegurança Alimentar Leve (ISANL)	Preocupação ou incerteza quanto ao acesso futuro a alimentos, sem redução significativa de consumo,
Insegurança Alimentar Moderada (ISANM)	Redução de quantidade e/ou qualidade de alimentos consumidos,
Insegurança Alimentar Severa (ISANS)	Fome manifesta—vivência de períodos sem acesso a alimentos suficientes.

3.5.2. QUESTIONÁRIO SOCIODEMOGRÁFICO E SOCIOECONÔMICO

Complementarmente à EBIA, foi elaborado questionário estruturado para coleta de informações sociodemográficas e socioeconômicas, incluindo:

Dados Sociodemográficos:

- Sexo/Gênero,
- Faixa etária,
- Cor/Raça (conforme categorização do IBGE),
- Município de residência,
- Estado civil.

Dados Socioeconômicos:

- Renda familiar total,
- Composição familiar (número de membros no domicílio),
- Alteração de renda durante/após pandemia,
- Recebimento de bolsa/auxílio,

Estes dados permitiram contextualizar os achados sobre insegurança alimentar em relação às características individuais e estruturais dos participantes.

3.6. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

O recrutamento foi realizado por contato direto com estudantes nos três Restaurantes Universitários (RUs) da UNIVASF, localizados nos campi Petrolina Sede, Ciências Agrárias e Juazeiro. A escolha de abordagem nos RUs justifica-se por garantir acesso à população-alvo regularmente. Pesquisadores treinados abordavam estudantes durante períodos de refeição, apresentando brevemente os objetivos da pesquisa e convidando para participação.

A coleta de dados ocorreu nas dependências dos RUs, em espaços que garantissem privacidade relativa e conforto dos participantes. A realização no próprio RU facilita a participação e reduz perdas amostrais por logística.

Após aceite de participação, o participante:

1. Recebia esclarecimentos adicionais sobre a pesquisa,
2. Assinava TCLE e Termo de Autorização para Imagem e Som de Voz,
3. Procedia ao preenchimento do questionário sociodemográfico,
4. Completava a EBIA com auxílio de pesquisador quando necessário,
5. Era informado sobre direito a esclarecimentos posteriores

3.7. ANÁLISE DE DADOS

Os dados coletados foram organizados em banco de dados estruturado e analisados por meio de estatística descritiva, incluindo frequências absolutas e relativas (percentuais) para variáveis categóricas, medidas de tendência central (média, mediana) e dispersão (desvio-padrão, amplitude) para variáveis contínuas e tabulações cruzadas entre variáveis de interesse (ex.: nível de ISAN por sexo, faixa etária, renda),

A prevalência de ISAN foi calculada como proporção de estudantes classificados em qualquer nível de insegurança (ISANL, ISANM ou ISANS) em relação ao total da amostra, expressa em percentual.

Os dados foram processados utilizando Microsoft Excel® para tabulação inicial e software estatístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versão 22.0.para análises descritivas e analíticas. Para verificar associações entre variáveis sociodemográficas e os escores da EBIA, foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney, adotando-se nível de significância de $p < 0,005$.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO SOCIODEMOGRÁFICA DA AMOSTRA

A amostra foi composta por 116 estudantes universitários que atenderam aos critérios de elegibilidade definidos na metodologia. A caracterização sociodemográfica (Tabela 1) revelou predominância de participantes do sexo feminino, autodeclarados como pardos e com faixa etária entre 20 e 25 anos. A maioria se identificou como mulher cisgênero, sendo todos solteiros.

Tabela 1– Caracterização sociodemográfica dos universitários cadastrados no P1 do restaurante universitário (n = 116) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), 2025.

Dados Sociodemográficos	N	%
Faixa etária	**116**	100,00
Até 19 anos	20	17,24
20 a 25 anos	81	69,83
≥ 26 anos	15	12,93
Cor	**116**	100,00
Amarelo	1	0,86
Branco	30	25,86
Pardo	55	47,41
Preta	30	25,86
Sexo	**116**	100,00
Feminino	80	68,97
Masculino	36	31,03
Identidade de gênero	**116**	**100,00**
Mulher cisgênero	79	68,10
Homem cisgênero	36	31,03
Homem Transgênero	1	0,86
Estado civil	**116**	**100,00**
Solteiro(a)	116	100,00
Casado(a)	0	0,00
Outro	0	0,00

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.2. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A renda familiar mostrou-se extremamente reduzida: 78,44% dos estudantes pertenciam a famílias com renda mensal de até dois salários-mínimos, sendo que 35,34% relatavam renda familiar mensal igual ou inferior a um salário-mínimo.

Quanto à estrutura domiciliar, a maioria (71,55%) vivia em domicílios com até três moradores, sugerindo unidades familiares compactas. Importante destacar que 53,45% dos estudantes relataram ter sofrido alterações de renda durante ou após a pandemia de COVID-19, indicando que os efeitos econômicos da crise sanitária permaneciam evidentes no momento da coleta de dados.

Adicionalmente, apenas 37,93% dos estudantes recebiam bolsa ou auxílio institucional, evidenciando que a maioria (62,07%) dependia exclusivamente de renda familiar para sua manutenção na instituição, sem complementação de políticas de assistência estudantil além do acesso ao RU.

No que concerne à composição domiciliar, 47,97% (n= 51) dos estudantes residiam com pais e/ou irmãos, enquanto 20,69% (n= 24) compartilhavam moradia com colegas ou amigos, e 15,52% (n= 18) viviam sozinhos. É relevante destacar que, ao serem questionados sobre com quem dividiam o domicílio, a maioria dos participantes enfatizou residir com a mãe, sem menção à figura paterna, o que pode indicar estruturas familiares monoparentais femininas, frequentemente associadas a maior vulnerabilidade social.

A distribuição geográfica revelou concentração de participantes em Petrolina-PE (79,31%), sede administrativa da UNIVASF.

Tabela 2- Perfil socioeconômico e domiciliar de universitários cadastrados na modalidade Prioridade 1 do Restaurante Universitário da UNIVASF. Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), 2025.

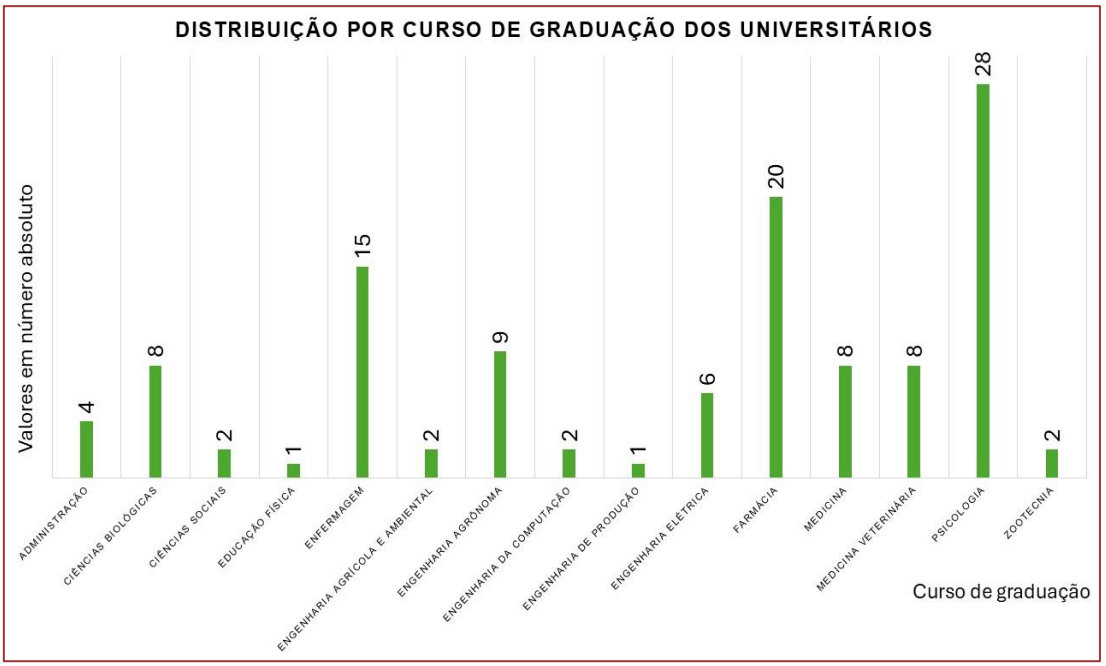
Dados Socioeconômicos	N	%
Renda Familiar	**116**	**100,00**
Igual ou inferior a 1 Salário-Mínimo	41	35,34
Entre 1 e 2 Salários-Mínimos	50	43,10
Entre 3 e 4 Salários-Mínimos	23	19,83
Acima de 5 Salários-Mínimos	2	1,72
Quantidade de moradores no domicílio	**116**	**100,00**
Até três moradores	83	71,55
Entre quatro e seis moradores	29	25,00
Acima de sete moradores	4	3,45
Alteração de renda durante/após pandemia	**116**	**100,00**
Sim	62	53,45
Não	53	45,69
Recebe bolsa ou auxílio	**116**	**100,00**
Sim	44	37,93
Não	72	62,07
Município de residência (n=116)	**116**	**100,00**
Petrolina – PE	92	79,31
Juazeiro – BA	23	19,83
Santa Maria da Boa Vista - PE	01	0,86

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.3. CARACTERIZAÇÃO ACADÊMICA DA AMOSTRA

Os 116 estudantes estavam distribuídos em 14 cursos de graduação presencial abrangendo quatro grandes áreas do conhecimento: Ciências Biológicas e da Saúde, Ciências Humanas, Ciências Animais e Ciências Exatas, ofertados nos campi Petrolina Sede, Ciências Agrárias (CCA) e campus Juazeiro, localizados nos municípios de Petrolina-PE, os dois primeiros, e Juazeiro-BA, o último, conforme ilustrado no Gráfico 1. Diante da análise do referido perfil dos participantes, observa-se uma predominância significativa de estudantes vinculados aos cursos da área de Ciências da Saúde, com destaque para Psicologia (24,14%), Farmácia (17,24%) e Enfermagem (12,93%).

Gráfico 1 – Distribuição dos universitários cadastrados no P1 do restaurante universitário por curso de graduação. UNIVASF, Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), 2025.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.4. PREVALÊNCIA E CLASSIFICAÇÃO DA INSEGURANÇA ALIMENTAR

A análise da EBIA revelou um panorama crítico em relação à segurança alimentar da população estudantil investigada. Os dados foram coletados entre abril e julho de 2025 (Tabela 3). Apenas 31,90% dos estudantes encontravam-se em condição de segurança alimentar, não apresentando nenhum indicador de ISAN na EBIA. Inversamente, 68,10% dos estudantes (n=79) vivenciavam algum nível de ISAN, distribuindo-se nas três categorias de severidade:27,59% com ISAN leve, 18,10% com ISAN moderada e 22,41% com ISAN severa.

Tabela 3 – Classificação da segurança alimentar segundo a Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (EBIA) entre universitários cadastrados na modalidade Prioridade 1 do Restaurante Universitário da UNIVASF. Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), 2025.

Dados relativos à Escala Brasileira de Insegurança Alimentar (EBIA)	N	%
Classificação da EBIA	**166**	**100,0**
Segurança alimentar	37	31,90
Insegurança alimentar leve	32	27,59
Insegurança alimentar moderada	21	18,10
Insegurança alimentar grave	26	22,41
Total de insegurança alimentar	79	68,10

*Nota: Total de insegurança alimentar compreende a soma das categorias: Insegurança Alimentar Leve + Insegurança Alimentar Moderada + Insegurança Alimentar Severa.

5. DISCUSSÃO

Os dados desta pesquisa revelam cenário crítico de insegurança alimentar e nutricional (ISAN) entre estudantes da UNIVASF no período pós-pandêmico. A prevalência de 68,10%, com 22,41% em nível severo, indica que aproximadamente um em cada cinco estudantes vivencia fome manifesta, configurando violação grave de direito humano fundamental. A ISAN não se reduz à carência material, mas expressa desigualdades sociais profundas, determinadas por fatores econômicos (renda familiar), estruturais (gênero, raça e classe), sistêmicos (proteção social insuficiente) e conjunturais (efeitos prolongados da pandemia) (Rede Penssan, 2021)

A amostra evidencia múltiplas vulnerabilidades interligadas: predominância de mulheres (68,97%), muitas em estruturas monoparentais; elevada proporção de estudantes negros (47,41% pardos e 25,86% pretos); pobreza estrutural (78,44% com renda ≤ 2 salários-mínimos); persistência de efeitos da pandemia (53,45% relataram alteração de renda); e ausência de proteção social (62,07% sem bolsa ou auxílio). Estruturas monoparentais femininas apresentam vulnerabilidade ampliada, como descrito por Pearson (2000) e Buvinic e Gupta (1997), em razão de barreiras ocupacionais e de acesso à renda. Santos (2025) reforça que segregação ocupacional, responsabilidades de cuidado e predominância de arranjos monoparentais ampliam a vulnerabilidade socioeconômica. No presente estudo, estudantes que residiam apenas com a mãe apresentaram ISAN de 71,43%. Araújo et al. (2021) documentam que universitárias negras relataram privação alimentar associada à discriminação racial, ampliando impactos psicossociais

A caracterização racial, com predominância de pardos e pretos, reflete a composição populacional do Nordeste (62,5%) e do Brasil (45,3%) (IBGE, 2023), destoando do perfil de universidades federais do Sudeste, onde predominam brancos (Angotti; Zangirolan, 2022). Esse achado reforça a necessidade de incorporar raça/cor ao Plano Nacional de Assistência Estudantil. O IBGE (2024) mostra que pretos e pardos chefiaram 73,8% dos lares em ISAN grave, confirmando a dimensão racial da fome. Silva et al. (2022) evidenciam que desigualdades estruturais de raça/cor se associam significativamente à insegurança alimentar, revelando processos históricos de exclusão social. A interseccionalidade entre raça e gênero é particularmente relevante: mulheres negras em estruturas monoparentais acumulam vulnerabilidades que se refletem em maior prevalência de ISAN.

apenas 37,93% dos estudantes recebem bolsa ou auxílio, apesar de 68,10% vivenciarem ISAN, revelando desconexão entre vulnerabilidade e proteção social. Voss et al. (2024) identificaram que 85–90% da variação em ISAN em universidades brasileiras é explicada por renda e acesso a proteção social. Internacionalmente, Nikolaus et al. (2020) observaram que estudantes com renda abaixo da mediana tinham 2,8 vezes maior probabilidade de ISAN. No presente estudo, estudantes vivendo com mais de sete moradores apresentaram prevalência de 75,00%, superior àqueles em domicílios menores (66,27%), refletindo limitações da renda familiar em contextos de múltiplos dependentes.

A pandemia constituiu ponto de inflexão nas trajetórias de vulnerabilidade alimentar. Embora os dados tenham sido coletados em 2025, os efeitos econômicos permanecem evidentes. Durante a suspensão das atividades presenciais, o fechamento dos RUs removeu equipamentos estratégicos de permanência. Martins et al. (2023) documentaram incremento exponencial de ISAN entre universitários brasileiros, com prevalências de até 80%. O retorno do Brasil ao Mapa da Fome (Rede Penssan, 2021)

reforça que a crise sanitária amplificou vulnerabilidades preexistentes. Internacionalmente, Nikolaus et al. (2020) identificaram aumento de 10–15 pontos percentuais em ISAN em universidades norte-americanas, associado ao fechamento de serviços de alimentação e perda de renda. González-Pérez et al. (2023) observaram fenômeno semelhante em universidades espanholas, com isolamento físico e desorganização institucional ampliando vulnerabilidades.

Os RUs emergem como política estratégica para garantia de direitos e permanência estudantil. Sousa e Soares (2024) demonstram que para cerca de 80% dos universitários, refeições do RU constituem principal fonte alimentar diária, e 63% teriam dificuldades para almoçar e jantar regularmente sem esse equipamento. A prevalência de ISAN de 68,10% entre usuários P1, similar ou superior a índices nacionais (Angotti; Zangirolan, 2022) e internacionais, sugere que equipamentos de assistência, quando subfinanciados, não conseguem superar desigualdades estruturais. O paradoxo é evidente: embora reconhecidos como fundamentais, RUs e bolsas não alcançam cobertura adequada. Na UNIVASF, apenas 37,93% dos estudantes vulneráveis recebem auxílio além do RU, deixando 62,07% desprotegidos. Essa desconexão reflete limitações orçamentárias e desfinanciamento crônico do ensino superior público. Respostas efetivas exigem cobertura robusta, critérios interseccionais e fortalecimento de equipamentos universais, articulados a políticas de combate ao racismo estrutural.

Entre as limitações do estudo destacam-se: amostra restrita a usuários P1 dos RUs; dados iniciais de pesquisa em andamento (n=116); caráter transversal, que não permite inferir causalidade; concentração em três campi, sem incluir possíveis diferenças em outros; e ausência de análise qualitativa neste capítulo.

Apesar dessas limitações, a pesquisa contribui ao documentar prevalência elevada de ISAN em população universitária pouco estudada regionalmente, identificar determinantes prioritários para políticas públicas, fornecer evidência técnico-científica para ampliação da assistência estudantil e visibilizar desigualdades estruturais que comprometem permanência e sucesso acadêmico. Os resultados reafirmam que alimentação adequada é direito fundamental indissociável da equidade educacional, cuja garantia demanda políticas intersetoriais robustas e investimento sustentado em assistência estudantil no ensino superior.

6. CONCLUSÃO

A insegurança alimentar e nutricional (ISAN) entre estudantes universitários do Semiárido nordestino revela-se como fenômeno estrutural, vinculado às desigualdades socioeconômicas históricas da região. A prevalência de 68,10%, com 22,41% em nível severo, demonstra que os programas de assistência estudantil, embora essenciais, permanecem insuficientes diante da sobreposição de fatores de risco — gênero, raça, renda limitada, ausência de proteção social e efeitos persistentes da pandemia.

A discrepância entre a elevada proporção de estudantes em ISAN e a baixa cobertura de auxílios (37,93%) evidencia falha institucional e limitações orçamentárias que comprometem a garantia de direitos fundamentais. Nesse contexto, o Restaurante Universitário emerge como política estratégica de permanência, cuja expansão deve ser entendida como imperativo de equidade educacional.

Os resultados indicam que a ISAN não decorre de escolhas individuais, mas de processos sistêmicos de exclusão. O enfrentamento exige ações intersetoriais articuladas, que

integrem políticas educacionais, sociais e econômicas. Assim, a ampliação de RUs e auxílios estudantis deve ser acompanhada por medidas estruturais mais amplas: transferência de renda adequada, combate ao racismo, redução das desigualdades de gênero, fortalecimento da agricultura familiar e investimento em desenvolvimento regional.

REFERÊNCIAS

[1] AGUIAR, O.B.; PADRÃO, S.M. Direito humano à alimentação adequada: fome, desigualdade e pobreza como obstáculos para garantir direitos sociais. Serviço Social & Sociedade, n. 143, p. 121-139, 2022.

[2] ANGOTTI, A.A.; ZANGIROLANI, L.T.O. Food insecurity and financial aid among university students: Pre-Covid-19 scenario of a public university in southeastern Brazil. Revista de Nutrição, v.35, p. e220061, 2022.

[3] ARAÚJO, P.H.G., DUARTE, A.O., SILVA, M.C. Influência da dieta na saúde mental e desempenho cognitivo – uma revisão da literatura. Research, Society and Development, v. 13, n. 6, e11013646103, 2024.

[4] ARAÚJO, T. A. *et al.* (In)segurança alimentar e nutricional de residentes em moradia estudantil durante a pandemia do covid-19. Segurança Alimentar e Nutricional, v. 28, p. 01-09, 2021.

[5] BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN) com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. Diário Oficial da União 2006.

[6] BUVINIC, M., GUPTA, G. R. Female-headed households and female-maintained families: Are they worth targeting to reduce poverty in the developing world? Economic Development and Cultural Change, v. 45, n. 2, p. 259-280, 1997.

[7] CASACA, S.F. A vulnerabilidade à pobreza das mulheres responsáveis por famílias monoparentais no Brasil e o papel das políticas públicas. Working Paper CEsA/CSG 181/2021, 2021.

[8] CHAPARRO, M.P.; ZAGHLOUL, S.S.; HOLCK, P.; DOBBS, J. Food insecurity among college students at the University of Hawai'i at Manoa. Public Health Nutrition, v. 12, n. 11, p. 2097-2103, 2009.

[9] DE MELO, A.G.S. et al. Direito a alimentação adequada: o diagnóstico de (in)segurança alimentar em estudantes universitários. ARACÊ, v. 7, n. 8, p. e7123, 2025.

[10] DUBICK, J.; MATHEWS, B.; CADY, C. Hunger on campus: the challenge of food insecurity for college students. Florida: College and University Food Bank AllISANce; 2016.

[11] FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2025.

[12] FAO. Agriculture Organization of the United Nations: The State of Food Insecurity in the World: Rome 2006.

[13] GONZÁLEZ-PÉREZ, R. et al. Prevalence and predictors of food insecurity among students of a Spanish University during the COVID-19 Pandemic: FINESCOP Project. Nutrients, v. 12, n. 4, p. 1836, 2023.

[14] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pretos e pardos chefiam 3 de cada 4 lares em que se registrou fome, 2024.

[15] IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022: Painel Cor ou Raça. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

[16] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise da segurança alimentar no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto; 2020.

[17] GARAJAU, N. I.; AFONSO, M.L. Reflexões sobre a intersetorialidade como estratégia de gestão na política de segurança alimentar e nutricional no Brasil. Revista Libertas, v. 14, n. 1, p. 01-18, 2014.

[18] MARTINS, N. C. et al. Situação de (in)segurança alimentar de estudantes universitários da rede pública durante a pandemia da COVID-19. Conexões - Ciência E Tecnologia, v. 17, p. 01-10, 2023.

[19] NAKAMURA, P. Restaurantes universitários combatem a fome e a evasão de estudantes, mas falta política de segurança alimentar no ensino superior. O Joio e o Trigo: Jornalismo investigativo sobre alimentação, saúde e poder. Cultura Alimentar, 2024.

[20] NIKOLAUS, C.J. et al. Food Insecurity among college students in the United States: a scoping review. Advances in Nutrition, v. 11, n. 2, p. 327-348, 2020.

[21] OFNPRAS. Observatório do Fórum Nacional de Pró-Reitores de Assuntos Estudantis. V Pesquisa Nacional de perfil socioeconômico dos (as) graduandos (as) das IFES - 2018 Brasília: Fronaprace; 2019.

[22] ONU. Nações Unidas no Brasil. ONU: Fome diminui, mas ainda atinge 673 milhões de pessoas em todo o mundo. Brasília, DF, 2025.

[23] PEARSON, R. Rethinking gender matters in development. In: T. ALLEN; A. THOMAS (Eds.), *Poverty and Development into the 21st Century*. Oxford: Oxford University Press., 2000. pp. 383-402.

[24] REDE PENSSAN - Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar. Brasil: Rede PENSSAN, 2021. Relatório (Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar – Rede PENSSAN), 2021.

[25] REYNOLDS, E.; JOHNSON, C.; JAMIESON, J.A.; MAWHINNEY, H. Prevalence and correlates of food insecurity among students attending a small,Rural Canadian University. Canadian Journal of Dietetic Practice and Research, v. 79, n. 3, p. e004, 2018.

[26] SANTOS ACS. Feminização da pobreza no Brasil: o papel do Bolsa Família. Perspectivas Sociais, v. 11, n. 1, p. e1128242, 2025.

[27] SILVA, R. A. Insegurança alimentar em estudantes de graduação durante a pandemia de COVID-19. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências da Saúde, Graduação em Nutrição. Natal, RN, 2023.

[28] SILVA, J. B. et al. Interseções de gênero e raça/cor em insegurança alimentar nos domicílios das diferentes regiões do Brasil. Cadernos de Saúde Pública, v. 38, n. 11, 2022.

[29] VOSS, B. N., FRANCIELE, K. A., MAINARDES, T. K., SCHIMANSKI, E. Insegurança alimentar e gênero no ensino superior: a importância das políticas sociais de permanência para mulheres na Universidade. Diversidad de las Culturas, v. 4, p. 25–47, 2024.

Capítulo 4

Eletrocoagulação aplicada no tratamento de efluentes: princípios, funcionamentos e limitações

Letícia Fabris
Elvis Carissimi
Salatiel Wohlmuth da Silva
Jandira Leichtweis

Resumo: A eletrocoagulação (EC) tem ganhado destaque por ser uma tecnologia promissora no tratamento de águas e efluentes, se destaca pela sua simplicidade operacional e bom desempenho. Seu funcionamento se apoia na geração direta de espécies coagulantes responsáveis pela desestabilização dos contaminantes, dispensando o uso de coagulantes químicos. Os hidróxidos metálicos formados no ânodo e da flotação promovida pelo hidrogênio liberado no cátodo, favorecem a remoção eficiente de diferentes poluentes, desde sólidos suspensos, matéria orgânica, bem como contaminantes emergentes. No entanto, ainda são observadas limitações associadas ao custo energético, vida útil dos eletrodos e dependência da condutividade da matriz tratada. Os avanços observados na literatura reforçam que a EC tem potencial significativo na composição de estratégias de tratamentos eficientes e alinhados aos princípios de sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O impacto negativo da contaminação dos corpos de água e dos efluentes, aliado a limitação dos recursos hídricos, constituem uma problemática global (Garcia-Segura et al., 2017). A contaminação por efluentes urbanos, industriais, agropecuários tem se agravado de maneira significativa e preocupante nas últimas décadas, ameaçando os ecossistemas, recursos de água potável e a saúde humana (Rathi; Kumar; Vo, 2021). Atualmente tem se destacado a poluição por contaminantes emergentes como fármacos, corantes, pesticidas e microplásticos os quais não são removidos de maneira eficiente nos processos convencionais de tratamento, com isso se faz necessário a busca por soluções que sejam eficientes na remoção desses contaminantes e ao mesmo tempo sustentáveis (Ejiohuo et al., 2025; Jiang et al., 2024).

Nos últimos anos a busca por soluções de tratamento de água e efluentes eficientes tem se tornado corriqueira, com isso a eletrocoagulação (EC) é umas das alternativas promissoras, a técnica se baseia na geração *in situ* de espécies coagulantes a partir da dissolução de eletrodos consumidos, tradicionalmente ferro (Fe) e alumínio (Al) (Shahedi et al., 2020), formando hidróxidos metálicos que neutralizam cargas, adsorvem matéria orgânica (MO) e com isso contribuem para a aglomeração das partículas coloidais, do mesmo modo a evolução gasosa no eletro favorece a flotação dos flocos formados, favorecendo sua separação (Shah; Walia; Kazemian, 2024). Os fenômenos, eletroquímica, floculação e flotação conferem a EC uma multifuncionalidade e aplicação variada, como em efluentes têxteis, lixiviados e águas oleosas (Boinpally et al., 2023).

Os desafios práticos da aplicação da EC ainda exigem estudos, como a avaliação da eficiência energética, que apresenta sensibilidade a condução do meio, passivação dos eletros que reduzem a produtividade com o decorrer do tempo e o lodo eletroquímico, os quais necessitam de formas adequadas para disposição e manejo (Goyal; Mondal, 2022). Estudos vem sendo realizados com o intuito de avaliar o desempenho, análise do ciclo de vida e econômicos, e também estudos que procuram entender pontos como a otimização do projeto de reatores eletroquímicos, com o intuito de melhoria da eficiência na remoção de poluentes de difícil degradação, além da análise e compreensão de quando a aplicação da EC é favorável quando comparado a coagulação química convencional (Cornejo et al., 2024; Leovac Maćerak et al., 2024).

Estudos também vem investigando o desenvolvimento de materiais eletrodos mais resistentes à passivação e estratégias de mitigar, e ainda, novos eletrodos modificados (Abdollahi; Alavi Moghaddam; Habibzadeh, 2025), e a aplicação da EC com processos adicionais como membranas, oxidação avançada e adsorção para tratamento eficiente de água (Xue et al., 2025). Ainda há trabalhos que propõem sistemas híbridos que combinam oxidação e redução eletroquímica de subprodutos (Yang; He, 2025). São avanços importantes e promissores para soluções desenvolvidas e escalonáveis, promissoras de operação em escala piloto ou industrial, fortalecendo a implementação eletroquímica em projetos de tratamento de efluentes.

Dessa maneira, este capítulo apresenta os principais aspectos da EC, desde seus fundamentos e eficácia na remoção de poluentes até os fatores que influenciam o desempenho do processo. Também são discutidos os desafios atuais, tendo como objetivo oferecer uma visão direta e atualizada da EC e seu papel no tratamento de águas e efluentes.

2. ELETROCOAGULAÇÃO

2.1. FUNDAMENTOS DA ELETROCOAGULAÇÃO

O processo da EC se baseia na aplicação de eletrodos de sacrifício submersos na água residual. Sob aplicação de uma corrente elétrica (em modo galvânico), o ânodo sofre oxidação, gerando coagulantes metálicos *in situ*, como zinco (Zn), alumínio (Al) e ferro (Fe) (Das; Sharma; Purkait, 2022). Utilizando o eletrodo de (Al) como exemplo, no ânodo ocorre a dissolução metálica, como podemos observar na Eq. (1), de acordo com a Lei de Faraday:

$$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \qquad (1)$$

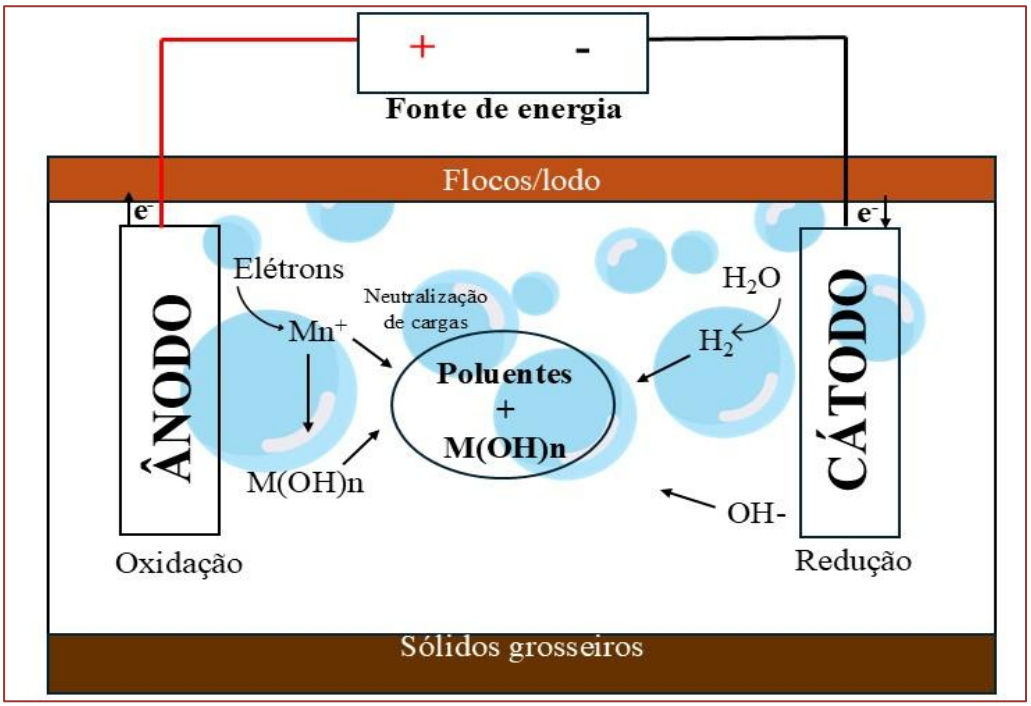
O cátion Al^{3+} gerado, ao entrar em contato com a água, sofre hidrólise e polimerização, formando espécies como $Al(OH)3$ e polihidróxidos carregados positivamente, essas espécies são os principais agentes coagulantes, capazes de desestabilizar partículas, neutralizar cargas e promover a aglomeração do contaminante (Jo et al., 2024). O processo de formação de hidróxidos a partir de íons gerados no processo eletroquímico é fundamental para o efeito de coagulação (Gautam; Kumar; Lokhandwala, 2019). No cátodo, a reação frequente é a redução da água (eletrólise), produzindo gás hidrogênio $H2$ e íons hidroxila OH^{-}, conforme Eq. (2):

$$2H_2O_{(L)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^{-} \qquad (2)$$

A geração do H_2 gasoso no cátodo é fundamental, pois as microbolhas liberadas aderem-se aos flocos formados, promovendo a flotação e facilitando sua separação. Além disso, a geração de OH^{-} tende a elevar o pH próximo à superfície do cátodo, o que favorece a precipitação dos hidróxidos (Visigalli et al., 2021).

A Figura 1 apresenta um esquema do processo de EC.

Figura 1. Representação ilustrativa do processo de EC.



Fonte: Adaptado de (Boinpally et al., 2023).

O princípio da EC é simples: ao aplicar uma corrente elétrica, o ânodo metálico se oxida, liberando íons metálicos Fe^{+n} e Al^{3+} para o meio aquoso. Estes íons sofrem hidrólise e polimerização, formando hidróxidos metálicos ($M(OH)_n$) e polihidróxidos. Essas espécies desempenham um papel crucial no tratamento, pois elas neutralizam cargas superficiais das partículas coloidais, promovem a adsorção de matéria orgânica (MO) e, por fim, levam à aglomeração das partículas em flocos de maiores dimensões (Bajpai; Seidu; Gengec, 2025a).

Concomitantemente, a evolução gasosa no cátodo (principalmente gás hidrogênio) favorece a flotação dos flocos formados, facilitando sua separação rápida e eficaz da fase líquida (Phu; Nguyen; Phung, 2025a). Essa notável combinação de eletroquímica, coagulação/floculação e flotação confere à EC uma multifuncionalidade, permitindo sua aplicação em uma vasta gama de efluentes, como efluentes têxteis complexos, lixiviados de aterros sanitários, águas oleosas e efluentes agroindustriais (Boinpally et al., 2023).

Nos últimos anos, a busca por soluções de tratamento de águas e efluentes que sejam eficientes e ecologicamente responsáveis tem se intensificado (Shamshad; Ur Rehman, 2025). Assim, a EC surge como uma alternativa promissora e robusta, representando um avanço significativo no campo do tratamento eletroquímico (Nidheesh et al., 2021). Para maiores esclarecimentos, A tabela 1 apresenta alguns estudos recentes que ilustram as tendências e aplicações da eletrocoagulação.

Tabela 1 – Estudos que utilizaram EC para tratamento de efluentes.

Processo	Poluente	Condições operacionais	Eficiência	Consumo energético	Referência
Peroxi-Eletrocoagualação (PEC)	Corante Azul Reativo 171	pH = 3; densidade de corrente = 9,2 $mA{\cdot}cm^{-2}$; $[H_2O_2]$ = 4 mM; tempo = 7,7 min	99,4%	0,275 $kWh{\cdot}m^{-3}$	(Mahroudi et al., 2022)
Eletrocoagulação (EC)	Vermelho Reativo 120 (RR-120); Azul Básico (BB-3); Vermelho Básico 46 (BR-46)	pH = 3 BB-3, pH =11 RR-120 pH = 7 BR-46 Potencial aplicado: 10 V	93,5% BB-3 96,3% RR-120 99,5% BR-46	BB-3:0,27 kWh/m^3 RR-120: 0,14 kWh/m^3 BR-46:0,10 kWh/m^3	(Negash et al., 2023)
Eletrocoagulação (EC)	P (fósforo); Cr(VI) (cromo hexavalente); Sb(V) (antimônio pentavalente)	pH = 3; densidade de corrente = 32,43 $mA{\cdot}cm^{-2}$; tempo = 20 min	≈100%	0,187 kWh/m^3	(Huang et al., 2025)
Ozonização catalítica heterogênea + Eletrocoagulação (HCOP-EC)	DQO inicial: 480 mg/L DBO inicial: 210 mg/L	pH: 9; densidade de corrente = 15,2 mA/cm^2; tempo = 30 min	Descoloração: 79,6% DQO: 73,3% DBO: 69,04%	-	(Javed et al., 2025)
Eletrocoagulação/ Flotação (ECF) + Dessalinização por Membranas	Efluente têxtil real	Densidade de corrente = 50-600 mA;	Cor: 99% DQO: 81,5% Membrana SiO2/PA: 100% de DQO	-	(Isawi; Sadik; Nasr, 2024)
UV (fotólise) + US (sonólise) + Eletrocoagulação (EC)	Efluente industrial de destilaria	pH = 7; densidade de corrente = 0,175 A/dm^2; tempo = 4h	Cor: ≈100% Carga Orgânica: 95,63%	6,97 kWh/m^3	(Asaithambi et al., 2022)
Eletrocoagulação (EC) em fluxo contínuo	Efluente real de fábrica de papel	pH: 5; densidade de corrente = 10,72 mA/cm^2; tempo = 120 min	≈80%	-	(Pandey et al., 2025)

Fonte: Autores do trabalho, (2025).

2.2. EFICÁCIA E FATORES CHAVE

A eficácia da EC é resultado da combinação de três mecanismos: a coagulação eletroquímica (neutralização de carga e precipitação por varredura), a floculação

(aglomeração das partículas desestabilizadas) e a flotação eletrolítica. A taxa de geração do coagulante é o principal fator de controle, determinada pela densidade de corrente aplicada (Reátegui-Romero et al., 2020).

Quanto aos fatores que influenciam o desempenho do processo, cabe ressaltar que a densidade de corrente (J) é o parâmetro mais crítico, pois a dose de coagulante é diretamente proporcional à sua intensidade (Lei de Faraday). Correntes mais altas aceleram a remoção, mas aumentam o consumo de energia. O pH inicial do efluente é crucial, pois governa as espécies de hidróxidos formadas; para o Fe e Al, a faixa ótima geralmente reside entre 5,0 e 8,0 (Adamović; Milošević; Prica, 2025a; Joag; Kiesewetter; Chellam, 2025). A equação que descreve a intensidade de corrente é apresentada na Eq. (3):

$$J = \frac{I}{A} \qquad (3)$$

Onde: J = densidade de corrente ($A.m^{-2}$); I = intensidade de corrente elétrica (A); A = área superficial ativa total do ânodo submerso no efluente (m^2).

O tempo de eletrocoagulação determina a dose total de coagulante aplicada e deve ser otimizado para evitar a superdosagem (Yang et al., 2024). Por fim, a condutividade do efluente é vital, pois afeta a resistência do reator e, consequentemente, a tensão e o custo energético: efluentes de baixa condutividade exigem tensões mais elevadas (Ebba; Asaithambi; Alemayehu, 2021).

A EC oferece vantagens significativas em relação à coagulação química, sendo a principal a geração *in situ* do coagulante, eliminando a necessidade de estocagem e dosagem de produtos químicos. Isso resulta em um processo mais seguro e controlável. Além disso, o lodo eletroquímico é tipicamente mais denso, tem menor volume e melhor desidratação do sistema, facilitando o manejo e reduzindo os custos de disposição. A EC é extremamente eficiente na quebra de emulsões e na remoção de metais pesados, corantes e outros contaminantes complexos.

3. DESAFIOS, LIMITAÇÕES E TENDÊNCIAS DE PESQUISA

Apesar do potencial, os desafios práticos da aplicação da EC ainda exigem estudos e aprimoramentos, a eficiência energética do processo é um ponto sensível, pois depende diretamente da condutividade do meio (Aryanti et al., 2024). Além disso, a passivação dos eletrodos (formação de uma camada isolante de hidróxidos na superfície do ânodo) é um obstáculo significativo, pois eleva a resistência da célula, aumentando o consumo de energia e reduzindo a eficiência do processo ao longo do tempo (Xu et al., 2024; Boinpally et al., 2023; El-taweel et al., 2023). O custo operacional com a substituição dos eletrodos de sacrifício e o elevado consumo de energia em efluentes de baixa condutividade também são considerações importantes (Espinoza-Quiñones et al., 2020). O lodo eletroquímico gerado, embora apresente características físicas superiores ao lodo químico (menor volume e melhor desidratação), necessita de manejo e disposição final adequados (Rumky et al., 2023).

Estudos recentes têm se dedicado a uma avaliação do processo por meio da Análise do Ciclo de Vida (ACV) e avaliações econômicas, buscando determinar em quais cenários a aplicação da EC é mais favorável e sustentável em comparação com a coagulação

química convencional, as tendências atuais da pesquisa buscam superar essas barreiras (Safwat; Mohamed; El-Seddik, 2023). Diante disso, a otimização de reatores eletroquímicos de fluxo contínuo, com o objetivo de melhorar a eficiência de remoção, especialmente em efluentes complexos (Cornejo et al., 2024).

De forma geral, os principais desafios de projeto centram-se em maximizar a eficiência de mistura, minimizar a passivação do eletrodo e garantir uma distribuição homogênea da densidade de corrente. O desempenho de um reator de fluxo está intrinsecamente ligado à sua geometria e ao arranjo dos eletrodos. A escolha entre arranjos monopolares e bipolares é crucial: o arranjo monopolar é mais simples de operar e requer menor voltagem, sendo adequado para efluentes de baixa condutividade (Salinas- Echeverría et al., 2023). Já o arranjo bipolar facilita a limpeza e a substituição dos eletrodos, mas requer maior tensão (Jafari et al., 2023).

Paralelamente, o desenvolvimento de novos materiais de eletrodos mais resistentes à passivação e a implementação de estratégias de mitigação, como a inversão de polaridade (alternância periódica da função anódica e catódica), são áreas de intensa pesquisa, visando a sustentabilidade do desempenho (Bajpai; Seidu; Gengec, 2025). Além disso, a aplicação de sistemas híbridos combinando a EC com processos adicionais, como membranas (EC-MBR), processos eletroquímicos de oxidação avançada (EC-AOPs) e adsorção, é uma rota promissora para o tratamento eficiente de contaminantes emergentes (Xue et al., 2025). Também há trabalhos que propõem sistemas híbridos que integram a oxidação e a redução eletroquímica para controle de subprodutos e remoção completa de contaminantes (Yang; He, 2025).

Com base no exposto, constata-se que esses avanços são cruciais para desenvolver soluções robustas, escalonáveis e promissoras de operação em escala piloto ou industrial, fortalecendo a implementação da tecnologia eletroquímica em projetos de tratamento de efluentes. No entanto, torna-se importante abordar sobre os princípios que sustentam a técnica, descrever os parâmetros que mais influenciam o desempenho do processo, bem como discutir as perspectivas e o impacto ambiental da EC.

4. SISTEMAS HÍBRIDOS E DESAFIOS FUTUROS

Atualmente, a comunidade científica se concentra em aprimorar a EC através de materiais inovadores e integração de processos. O uso de nanotecnologia se manifesta na geração *in situ* de nano-coagulantes com maior área superficial e na modificação de eletrodos com nanomateriais para aumentar a condutividade e a reatividade (Karimi et al., 2023).

Para o tratamento de contaminantes emergentes (CEs), a associação da EC com outras tecnologias é a rota mais promissora. A combinação EC com processos oxidativos avançados eletroquímicos (E-POAs), como o Fenton Eletroquímico, cria uma sinergia, onde a EC remove a maior parte da massa particulada e o E-POA degrada os CEs (Nidheesh et al., 2022). Da mesma forma, a EC atua como um pré-tratamento eficaz para membranas, reduzindo significativamente o fenômeno de *fouling* e prolongando a vida útil dos módulos de filtração (Jebur et al., 2023). O desenvolvimento de sistemas automatizados, utilizando algoritmos de inteligência artificial (IA) para otimização da densidade de corrente e do ciclo de inversão de polaridade, representa a fronteira futura para garantir a máxima eficiência energética e operacional (Akhtar; Wahidi; Kobya, 2025).

A combinação de EC com Oxidação Eletroquímica (EO) ou com Membranas (EC- MBR) é a

rota mais investigada (Abdollahzadeh Sharghi et al., 2025; Jo et al., 2024). A EC funciona como um pré-tratamento que remove a matéria orgânica de alto peso molecular e a turbidez, concentrando os CEs nos flocos e protegendo as membranas ou otimizando a fase de oxidação. Por exemplo, em uma associação EC/EO a EC concentra a poluição, e o processo EO (utilizando ânodos BDD ou DAS) garante a degradação final dos compostos que permaneceram dissolvidos, alcançando os altos níveis de remoção necessários para o reuso seguro da água. Essa investigação é vital para tratar efluentes farmacêuticos e hospitalares, onde a complexidade e a baixa concentração dos CEs demandam uma abordagem de tratamento em múltiplos estágios (Asfaha; Tekile; Zewge, 2021).

O futuro da EC é promissor e direciona-se para o desenvolvimento de soluções mais integradas, autônomas e sustentáveis (Ingelsson; Yasri; Roberts, 2020). A consolidação de sistemas híbridos, o avanço na mitigação da passivação via novos materiais e a otimização de reatores por IA pavimentarão o caminho para a aplicação da EC em grande escala, tornando-a uma tecnologia-chave para o reuso de água e o tratamento eficaz de CEs (Bajpai et al., 2022).

A transição da EC da escala laboratorial para a escala piloto ou industrial exige um foco rigoroso na otimização do projeto do reator (Kuokkanen et al., 2021). Enquanto os reatores em batelada (tipo batch) são comuns em pesquisa inicial devido à sua simplicidade, a aplicação em larga escala demanda reatores de fluxo contínuo para maior produtividade e integração em plantas de tratamento existentes (Nidheesh et al., 2022).

A tendência atual, é o desenvolvimento de reatores eletroquímicos de fluxo otimizados que minimizem os gradientes de concentração e maximizem a transferência de massa. Neste contexto, reatores de fluxo plugado (PFR) ou reatores com múltiplos estágios têm sido explorados para garantir o tempo de residência ideal e a máxima taxa de conversão (Fang et al., 2025). Além disso, a engenharia de reatores tem se concentrado na implementação de estratégias de despassivação *in situ*, como a inversão de polaridade automática e sistemas de raspagem mecânica ou hidrodinâmica, essenciais para manter a eficiência e a produtividade a longo prazo (Madhavan; Antony, 2021).

A modelagem computacional, em particular por meio da Dinâmica de Fluídos Computacional (CFD), é uma ferramenta essencial para a simulação do comportamento hidrodinâmico em reatores eletroquímicos, através dela, é possível prever a formação e a dinâmica das bolhas de hidrogênio, como também a distribuição do campo elétrico, o que permite a otimização dos processos de flotação e redução dos pontos quentes de passivação dos eletrodos, melhorando a eficiência e produtividade a longo prazo (Valentín-Reyes; Nava, 2023).

5. EFICIÊNCIA SUSTENTÁVEL E IMPACTO AMBIENTAL

A eficiência da EC é fortemente defendida por sua capacidade de remover uma ampla variedade de poluentes e por seu perfil ambiental. Estudos de avaliação de ciclo de vida (ACV) frequentemente indicam que a EC pode apresentar um impacto ambiental global menor que a coagulação química, devido à eliminação da produção e transporte de químicos e à redução do volume de lodo (Leovac Maćerak et al., 2024). Embora o lodo seja metálico, ele é estável e, atualmente, está sendo estudado seu potencial de valorização como adsorvente ou material de construção, transformando um resíduo em um recurso. A EC, portanto, se estabelece como uma tecnologia robusta e mais sustentável na busca por padrões de descarte ou reuso de água (Sugai; Benincá; Zanoelo, 2023).

6. CONCLUSÕES

A EC demonstra ser uma tecnologia suficiente para a integração de estratégias modernas e eficientes de tratamento de águas e efluentes. A geração *in situ* do coagulante confere ao processo uma vantagem operacional, reduzindo a dependência de insumos químicos, minimizando riscos ao manuseio de reagentes e aumentando a confiabilidade do sistema. O lodo eletroquímico, mais denso e menos volumoso, exige menos etapas de manejo e apresenta potencial de valorização em aplicações provenientes, o que reforça a EC como uma técnica com princípios de circularidade e sustentabilidade. Estudos recentes evidenciam avanços significativos no entendimento dos mecanismos reacionais, na modelagem do reator e adaptação em processos complexos. Estudos reforçam que quando corretamente dimensionada e operada a EC pode atingir alto desempenho, apresentando-se como uma ferramenta de grande valia para tratamento primário quanto para etapas de pré-tratamento em sistemas híbridos.

REFERÊNCIA

[1] ABDOLLAHI, Javad; ALAVI MOGHADDAM, Mohammad Reza; HABIBZADEH, Sajjad. Uncovering the key determinants of electrode passivation and faradaic efficiency in electrocoagulation: Depassivation and sustainable performance via polarity reversal. **Environmental Research**, v. 279, p. 121889, 15 ago. 2025.

[2] ABDOLLAHZADEH SHARGHI, Elham *et al.* Gaining comprehensive insight into the effect of electrocoagulation integrated in a membrane bioreactor on the detergent manufacturing plant wastewater treatment and membrane fouling. **Chemosphere**, v. 370, p. 144007, fev. 2025.

[3] ADAMOVIĆ, Savka; MILOŠEVIĆ, Rastko; PRICA, Miljana. Optimizing batch electrocoagulation-flotation for emerging industrial wastewaters: A review on the state- of-the-art. **Desalination and Water Treatment**, v. 321, p. 100982, 1 jan. 2025a.

[4] ADAMOVIĆ, Savka; MILOŠEVIĆ, Rastko; PRICA, Miljana. Optimizing batch electrocoagulation-flotation for emerging industrial wastewaters: A review on the state- of-the-art. **Desalination and Water Treatment**, v. 321, p. 100982, 1 jan. 2025b.

[5] AKHTAR, Nawid Ahmad; WAHIDI, Namatullah; KOBYA, Mehmet. Machine learning- based prediction and optimization of electrocoagulation process parameters for slaughterhouse wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 13, n. 6, p. 119637, 1 dez. 2025.

[6] ALAM, Rahat *et al.* Use of Electrocoagulation for Treatment of Pharmaceutical Compounds in Water/Wastewater: A Review Exploring Opportunities and Challenges. **Water**, v. 13, n. 15, p. 2105, jan. 2021.

[7] ARYANTI, Putu Teta Prihartini *et al.* Energy efficiency in electrocoagulation processes for sustainable water and wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 6, p. 114124, 1 dez. 2024.

[8] ASAITHAMBI, Perumal *et al.* Distillery industrial wastewater(DIW) treatment by the combination of sono(US), photo(UV) and electrocoagulation(EC) process. **Journal of Environmental Management**, v. 320, p. 115926, out. 2022.

[9] ASFAHA, Yemane G.; TEKILE, Andinet Kebede; ZEWGE, Feleke. Hybrid process of electrocoagulation and electrooxidation system for wastewater treatment: A review. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, p. 100261, 1 out. 2021.

[10] BAJPAI, Mukul *et al.* A review on electrocoagulation process for the removal of emerging contaminants: theory, fundamentals, and applications. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 29, n. 11, p. 15252–15281, mar. 2022.

[11] BAJPAI, Mukul; SEIDU, Iddrisu; GENGEC, Erhan. Electrode design innovations in electrocoagulation: Passivation control, sludge valorization, and cost perspectives. **Journal of Water Process Engineering**, v. 77, p. 108637, 1 set. 2025a.

[12] BAJPAI, Mukul; SEIDU, Iddrisu; GENGEC, Erhan. Electrode design innovations in electrocoagulation: Passivation control, sludge valorization, and cost perspectives. **Journal of Water Process Engineering**, v. 77, p. 108637, 1 set. 2025b.

[13] BOINPALLY, Sriram *et al.* A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. **Water Cycle**, v. 4, p. 26–36, 1 jan. 2023.

[14] CORNEJO, Oscar M. *et al.* Recent advances in electrochemical flow reactors used in advanced oxidation processes: A critical review. **Chemical Engineering Journal**, v. 496, p. 153935, 15 set. 2024.

[15] DAS, Pranjal P.; SHARMA, Mukesh; PURKAIT, Mihir K. Recent progress on electrocoagulation process for wastewater treatment: A review. **Separation and Purification Technology**, v. 292, p. 121058, 1 jul. 2022.

[16] EBBA, Million; ASAITHAMBI, Perumal; ALEMAYEHU, Esayas. Investigation on operating parameters and cost using an electrocoagulation process for wastewater treatment. **Applied Water Science**, v. 11, n. 11, p. 175, 23 out. 2021.

[17] EJIOHUO, Ovinuchi *et al.* Ensuring water purity: Mitigating environmental risks and safeguarding human health. **Water Biology and Security**, v. 4, n. 2, p. 100341, abr. 2025.

[18] EL-TAWEEL, Reem M. *et al.* A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 6, p. 100358, 2023.

[19] ESPINOZA-QUIÑONES, Fernando Rodolfo *et al.* A mathematical approach based on the Nernst-Planck equation for the total electric voltage demanded by the electrocoagulation process: Effects of a time-dependent electrical conductivity. **Chemical Engineering Science**, v. 220, p. 115626, 20 jul. 2020.

[20] FANG, Yanqing *et al.* Mass transfer and multi-phase fluid flow in electro-coagulation: A review. **Water Research**, v. 282, p. 123715, 15 ago. 2025.

[21] GARCIA-SEGURA, Sergi *et al.* Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 801, p. 267–299, 15 set. 2017.

[22] GAUTAM, Pratibha; KUMAR, Sunil; LOKHANDWALA, Snehal. Advanced oxidation processes for treatment of leachate from hazardous waste landfill: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117639, nov. 2019.

[23] GOYAL, Hemant; MONDAL, Prasenjit. Life cycle assessment (LCA) of the arsenic and fluoride removal from groundwater through adsorption and electrocoagulation: A comparative study. **Chemosphere**, v. 304, p. 135243, out. 2022.

[24] HUANG, Xueni *et al.* Simultaneous removal of phosphorus, chromium (VI), and antimony (V) from textile dye wastewater by electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 488, p. 137409, maio 2025.

[25] INGELSSON, Markus; YASRI, Nael; ROBERTS, Edward P. L. Electrode passivation, faradaic efficiency, and performance enhancement strategies in electrocoagulation—a review. **Water Research**, v. 187, p. 116433, 15 dez. 2020.

[26] ISAWI, Heba; SADIK, M. A.; NASR, F. A. Combined electrocoagulation/flotation technique and membrane desalination for textile wastewater reuse. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 5, p. 113661, 1 out. 2024.

[27] JAFARI, Ehsan *et al.* Impact of operating parameters of electrocoagulation-flotation on the removal of turbidity from synthetic wastewater using aluminium electrodes. **Minerals Engineering**, v. 193, p. 108007, 1 mar. 2023.

[28] JAVED, Farhan *et al.* Remediation of textile wastewater by hybrid technique using ZIF- 67 catalyzed ozonation coupled with electrocoagulation. **Journal of Water Process Engineering**, v. 69, p. 106604, jan. 2025.

[29] JEBUR, Mahmood *et al.* Integrated Electrocoagulation, Ultrafiltration, Membrane Distillation, and Crystallization for Treating Produced Water. **Membranes**, v. 13, n. 6, p. 597, jun. 2023.

[30] JIANG, Tingting *et al.* Occurrence and distribution of emerging contaminants in wastewater

treatment plants: A globally review over the past two decades. **Science of The Total Environment**, v. 951, p. 175664, nov. 2024.

[31] JO, Sangyeol *et al.* Recent Advances in Wastewater Electrocoagulation Technologies: Beyond Chemical Coagulation. **Energies**, v. 17, n. 23, p. 5863, jan. 2024.

[32] JOAG, Sanket; KIESEWETTER, Jonathan; CHELLAM, Shankararaman. Electrode Corrosion, pH, and Dissolved Oxygen Dynamics, and Hardness/Silicon Removal during Aluminum Electrocoagulation of Hypersaline Produced Water. **ACS ES&T Engineering**, v. 5, n. 1, p. 86–102, 10 jan. 2025.

[33] KARIMI, Niloufar *et al.* Sequential application of aerated electrocoagulation and γ - F e 2 O 3 nanoparticle adsorption for COD removal: Consuming the least amount of energy and economic evaluation. **Results in Engineering**, v. 17, p. 100770, mar. 2023.

[34] KUOKKANEN, V. *et al.* Electrocoagulation treatment of metallurgical industry wastewater – A laboratory scale batch and pilot scale continuous study. **Hydrometallurgy**, v. 202, p. 105596, 1 jun. 2021.

[35] LEOVAC MAĆERAK, Anita *et al.* Electrocoagulation in treatment of municipal wastewater– life cycle impact assessment. **Chemosphere**, v. 355, p. 141701, maio 2024.

[36] LI, Xingyu *et al.* Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 278, p. 116420, 15 jun. 2024.

[37] MADHAVAN, Manilal A.; ANTONY, Soloman P. Effect of polarity shift on the performance of electrocoagulation process for the treatment of produced water. **Chemosphere**, v. 263, p. 128052, 1 jan. 2021.

[38] MAHROUDI, Azam *et al.* Removal of reactive blue 171 dye from aqueous solution and textile industrial wastewater using peroxi-electrocoagulation process by iron electrode: application of response surface methodology. **Desalination and Water Treatment**, v. 272, p. 266–276, 1 out. 2022.

[39] MAO, Yi; ZHAO, Yaqian; COTTERILL, Sarah. Examining Current and Future Applications of Electrocoagulation in Wastewater Treatment. **Water**, v. 15, n. 8, p. 1455, jan. 2023.

[40] NEGASH, Almaz *et al.* A study of basic and reactive dyes removal from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation process. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 46, p. 122–131, 1 out. 2023.

[41] NIDHEESH, P. V. *et al.* An overview on combined electrocoagulation-degradation processes for the effective treatment of water and wastewater. **Chemosphere**, v. 263, p. 127907, 1 jan. 2021.

[42] NIDHEESH, P. V. *et al.* Mixed industrial wastewater treatment by the combination of heterogeneous electro-Fenton and electrocoagulation processes. **Chemosphere**, v. 290, p. 133348, 1 mar. 2022a.

[43] NIDHEESH, P. V. *et al.* Emerging applications, reactor design and recent advances of electrocoagulation process. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 166, p. 600–616, 1 out. 2022b.

[44] PANDEY, Neha *et al.* Continuous electrocoagulation with aluminum electrodes: An efficient method for pollutant reduction in paper mill wastewater and sludge analysis. **Water Science and Engineering**, v. 18, n. 4, p. 506–514, 1 dez. 2025.

[45] PHU, Thi Kim Cuong; NGUYEN, Phi Long; PHUNG, Thi Viet Bac. Recent progress in highly effective electrocoagulation-coupled systems for advanced wastewater treatment. **iScience**, v. 28, n. 3, p. 111965, 21 mar. 2025a.

[46] PHU, Thi Kim Cuong; NGUYEN, Phi Long; PHUNG, Thi Viet Bac. Recent progress in highly effective electrocoagulation-coupled systems for advanced wastewater treatment. **iScience**, v. 28, n. 3, p. 111965, 21 mar. 2025b.

[47] PRIYA, Tanwi; MISHRA, Brijesh K.; PRASAD, Majeti Narasimha Vara. Physico- chemical techniques for the removal of disinfection by-products precursors from water. *In*: **Disinfection By-products in Drinking Water**. *[S.l.]*: Elsevier, 2020. p. 23–58.

[48] RATHI, B. Senthil; KUMAR, P. Senthil; VO, Dai-Viet N. Critical review on hazardous pollutants in

water environment: Occurrence, monitoring, fate, removal technologies and risk assessment. **Science of The Total Environment**, v. 797, p. 149134, nov. 2021.

[49] REÁTEGUI-ROMERO, Warren *et al.* Effect of current density on COD removal efficiency for wastewater using the electrocoagulation process. **Desalination and Water Treatment**, v. 184, p. 15–29, 1 abr. 2020.

[50] RUMKY, Jannatul *et al.* A review on the recent advances in electrochemical treatment technologies for sludge dewatering and alternative uses. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 11, p. 100341, 1 ago. 2023.

[51] SAFWAT, Safwat M.; MOHAMED, Nouran Y.; EL-SEDDIK, Mostafa M. Performance evaluation and life cycle assessment of electrocoagulation process for manganese removal from wastewater using titanium electrodes. **Journal of Environmental Management**, v. 328, p. 116967, 15 fev. 2023.

[52] SALINAS-ECHEVERRÍA, Dayanara Daniela *et al.* Evaluation of a continuous flow electrocoagulation reactor for turbidity removal from surface water. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 198, p. 478–488, 1 out. 2023.

[53] SHAH, Aatif Ali; WALIA, Sunil; KAZEMIAN, Hossein. Advancements in combined electrocoagulation processes for sustainable wastewater treatment: A comprehensive review of mechanisms, performance, and emerging applications. **Water Research**, v. 252, p. 121248, 15 mar. 2024.

[54] SHAHEDI, A. *et al.* A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes. **Current Opinion in Electrochemistry**, v. 22, p. 154–169, ago. 2020.

[55] SHAMSHAD, Jaweria; UR REHMAN, Rashid. Innovative approaches to sustainable wastewater treatment: a comprehensive exploration of conventional and emerging technologies. **Environmental Science: Advances**, v. 4, n. 2, p. 189–222, 2025.

[56] SUGAI, Daniela Yumi; BENINCÁ, Cristina; ZANOELO, Everton Fernando. Electrogenerated iron-based adsorbents: A case study of an azo dye removal viewed from a fundamental physico-chemical perspective. **Chemical Engineering Journal**, v. 454, p. 140129, 15 fev. 2023.

[57] VALENTÍN-REYES, Jonathan; NAVA, José L. Modeling of a novel cascade-type electrocoagulation reactor using iron electrodes. Characterization of bubbling flow and coagulant dosage. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 189, p. 109411, 1 jul. 2023.

[58] VISIGALLI, Simone *et al.* Electrocoagulation–flotation (ECF) for microalgae harvesting – A review. **Separation and Purification Technology**, v. 271, p. 118684, set. 2021.

[59] XU, Yang *et al.* Anti-passivation and performance optimization of tubular electrocoagulation reactor with synchronous flotation. **Journal of Water Process Engineering**, v. 68, p. 106298, 1 dez. 2024.

[60] XUE, Wenchao *et al.* Recent advances in membrane and electrochemical hybrid technologies for emerging contaminants removal. **Water Cycle**, v. 6, p. 176–194, 2025.

[61] YANG, Haiyan *et al.* The Application of an Electrocoagulation Process to the Sustainable Treatment of Initial Rainwater and the Simulation of a Flow Pattern in an Experimental Device. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 161, jan. 2024.

[62] YANG, Kaichao; HE, Zhen. Integrating oxidation and reduction processes in electrochemical wastewater treatment for contaminant removal with byproduct control. **Water Research**, v. 282, p. 123632, 15 ago. 2025.

Capítulo 5

Avaliação da remoção de Al^{3+} em efluentes por adsorção contínua utilizando casca de arroz

Nathália Wiggers Paiva
Nayara Fonseca Dutra
Lisbeth Zelayaran Melgar
Jorge David Alguiar Bellido

Resumo: Os sais de alumínio são frequentemente usados no processo de coagulação e o aumento da quantidade residual de alumínio na água após o tratamento é motivo de atenção devido aos possíveis efeitos na saúde humana e no meio aquático. Existem diversos processos tradicionais de remoção de metais que visam adequar sua concentração em efluentes à padrões de qualidade ambiental determinados pela legislação. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a remoção de alumínio por adsorção em casca de arroz tratada com NaOH. O adsorvente foi estudado em ensaios em coluna de leito fixo a fim de se avaliar a capacidade de adsorção da casca de arroz e de otimizar a concentração de alumínio no efluente, vazão de alimentação, pH, granulometria do adsorvente e altura de leito. As condições operacionais otimizadas foram 5 mg L-1, 6 mL min-1, pH igual a 4, granulometria de <48 mesh e altura de leito igual a 3,0 cm. Os modelos de Thomas, Yan, Clark e BDST foram utilizados para prever o comportamento das curvas de ruptura. A casca de arroz apresentou grande potencial e eficiência como biossorvente de baixo custo na remoção do metal estudado, indicando, desse modo, que esta é uma boa alternativa para o tratamento de águas e efluentes contaminados por alumínio.

Palavras-chave: Alumínio. Adsorção. Casca de Arroz. Modelos.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas enfrentados na atualidade está relacionado à poluição das águas. O descarte inadequado de resíduos, principalmente industriais e agrícolas, acarretam na contaminação de cursos d'água (KAZI *et al.,* 2009). Dentre os contaminantes encontrados nos resíduos destacam-se os metais que, quando se encontram na forma de íons dissolvidos, dependendo da concentração que se encontram, podem ser extremamente nocivos ao ambiente (DEVECCHI *et al.,* 2006; MIMURA *et al.,* 2010).

Um dos metais que tem sido amplamente utilizado em diversas áreas econômicas é o alumínio. As principais fontes de alumínio presentes em efluentes são os setores de mineração (FOLZKE, 2013), indústria galvânica (RIANI, 2008), anodização (SILVEIRA, 2010), produção de catalisadores para refino de petróleo (MARIANO, 2001) e estações de tratamento de água e esgoto que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante (FOLZKE, 2013). Quando a concentração de alumínio excede os limites estabelecidos pela legislação, estes podem causar sérios danos à saúde e ao meio aquático (DEVECCHI *et al.,* 2006).

Os sais de alumínio são frequentemente usados no processo de coagulação e a sua utilização tem gerado uma crescente preocupação no que diz respeito ao aumento da quantidade residual de alumínio na água após o tratamento, tanto na forma solúvel quanto insolúvel, e os possíveis efeitos na saúde humana e no meio aquático. De acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA, a concentração de alumínio máxima permitida é 0,2 mg mL^{-1} (OLIVEIRA, 2014). Estudos indicam que a ingestão de concentrações elevadas de alumínio pode causar danos neurológicos como Alzheimer (FLATEN, 2001; MARTYN *et al.*, 1997), perda de memória (LOBO-RECIO *et al.,* 2011), além de causar a mortalidade de peixes (BAIRD, 2002).

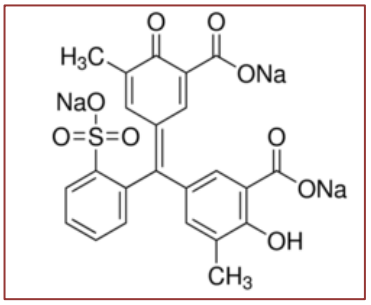
Existem diversos processos tradicionais de remoção de metais que visam adequar a concentração de metais em efluentes à padrões de qualidade ambiental determinados pela legislação antes de serem lançadas nas redes de esgoto ou nos corpos receptores. Entre os principais processos de tratamento estão a precipitação (CARDORIN, 2008), troca iônica (RIANI, 2008) e adsorção (MIMURA *et al.,* 2010).

A adsorção tem sido tema de diferentes estudos desde o início do século e, em se tratando de tratamento de águas, é uma das técnicas utilizadas que apresenta maior eficiência na remoção de compostos nocivos (NASCIMENTO *et al.,* 2014; AHMARUZZAMAN & SHARMA, 2005). Trata-se de uma operação de transferência de massa na qual um sólido possui a habilidade de reter em sua superfície determinadas substâncias presentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando assim a separação dos componentes desses fluidos (NASCIMENTO *et al.,* 2014). As colunas de leito fixo são amplamente utilizadas em processos de adsorção em larga escala, tanto para correntes líquidas quanto para gasosas (OLIVEIRA, 2014). Dentre os motivos está o fato de que esse sistema é mais eficaz para o tratamento de grades volumes de efluentes, ciclos de adsorção-dessorção e permite um uso mais eficiente do adsorvente. Além disso, geralmente esses sistemas são mais econômicos (AKSU, 2006; SOUZA *et al.,* 2007).

O teor de alumínio pode ser analisado por espectrofotometria no UV/vis, com comprimento de onda de 535 nm. A metodologia empregada na quantificação de alumínio adsorvido foi o Método da Eriocromocianina. Tal método colorimétrico foi citado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e foi uma parceria entre as instituições *American Public Health Association* (APHA), *American Water Works Association* (AWWA) e *Water Environment Federation* (WEF). O corante eriocromocianina

que ao ser adicionado a soluções de alumínio forma um complexo vermelho/alaranjado que apresenta maior absorbância no comprimento de onda igual 535 nm, porém para que isso ocorra o pH da solução deve ser igual a 6, somente assim a eriocromocianina reage com o alumínio. A concentração do íon alumínio, tempo de reação, temperatura e alcalinidade influenciam na intensidade da cor da solução, ficando mais escura quanto maior a quantidade de alumínio (OLIVEIRA, 2014). A Figura 1 mostra a estrutura da eriocromocianina.

Figura 1. Estrutura química da eriocromocianina.



A curva de ruptura descreve o comportamento dinâmico e a eficiência da coluna. O formato da curva de ruptura e o tempo de avanço são características importantes a serem observadas na determinação do funcionamento e dinâmica de uma coluna de leito fixo (SOUZA, 2007; AKSU, 2006). Geralmente, o tempo de ruptura diminui com o decréscimo da altura do leito, com o aumento do tamanho da partícula do adsorvente, com o aumento da velocidade do fluido através do leito e com o aumento da concentração inicial do soluto na alimentação aumenta (NASCIMENTO *et. al.,* 2014).

O ponto de ruptura representa o momento onde a zona de transferência de massa (ZTM) atinge a extremidade da saída da coluna e marca o final do tempo de serviço do leito. Geralmente, o ponto de ruptura ocorre quando a concentração do efluente que sai da coluna atinge 5% da concentração inicial. A partir de então, a concentração do efluente que sai da coluna aumenta continuamente até atingir o valor da concentração inicial. Nesse momento, se atingiu o ponto de exaustão da coluna, que normalmente é alcançado quando a concentração que sai da coluna atinge 95% da concentração inicial. Quanto menor a ZTM, maior o tempo de serviço da coluna durante o estágio de alimentação (COONEY, 1999).

Diversos são os materiais adsorventes utilizados em técnicas de adsorção para a remoção dos resíduos de alumínio gerados, sejam eles orgânicos como o carvão ativado (HAMOULE *et al.,* 2014; COUTINHO, 2015; EL-SAYED *et al.,* 2015), biomassas como casca de arroz (OLIVEIRA, 2014, MIMURA *et al.,* 2010), inorgânicos como zeólitas e argilas (JUSSIPBEKOV *et al.,* 2013), naturais ou sintéticos (AKLIL *et al*., 2004). Poucos são os estudos que avaliam a remoção de alumínio por adsorção. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a remoção de alumínio por adsorção em leito fixo utilizando casca de arroz tratada com NaOH em diferentes condições de concentração de alumínio, pH e vazão de alimentação, granulometria do adsorvente e altura do leito.

2. MODELOS MATEMÁTICOS

O estudo de adsorção em leito fixo se torna complexo devido ao fato de vários fenômenos de transferência de massa ocorrerem ao mesmo tempo (CANTELI, 2013) e se faz necessária a utilização de modelos matemáticos para minimizar os erros e tornar os resultados mais concretos. Alguns modelos encontrados na literatura estão listados abaixo e mostram de maneira satisfatória cálculos que englobam adsorção em leito fixo, ajudando na análise dos resultados experimentais.

2.1. MODELO DE THOMAS

O modelo de Thomas (1944) é um dos modelos mais gerais e tem sido amplamente utilizado para representar a desempenho das colunas de adsorção. Através desse modelo é possível determinar a capacidade máxima de adsorção de um adsorvente em sistemas contínuos através dos dados obtidos experimentalmente e projetar colunas para tratar determinados volumes de efluentes de acordo com a massa de adsorvente. Thomas considera a separação constante, onde é aplicado tanto para isotermas favoráveis quanto para as desfavoráveis. O modelo tem solução analítica e está representado na Equação 1 (THOMAS, 1944).

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{K_{TH}}{Q}(q_{TH}m - C_0 V_{out})\right]} \qquad (1)$$

Onde, C_0 é a concentração do adsorvato na solução de entrada (mg L^{-1}), C é a concentração do adsorvato no tempo t (mg L^{-1}), Q é a vazão volumétrica (mL min^{-1}), m é a massa de adsorvente (g), V_{out} é o volume do efluente utilizado (mL) e K_{TH} é a constante de Thomas (mL min^{-1} mg $^{-1}$). O parâmetro q_{TH} representa capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1}).

2.2. MODELA DE YAN

O modelo feito por Yan (2001) minimiza um erro encontrado no modelo de Thomas, quando levado em consideração os tempos de operação curtos e longos (CHIVOLA *et al.,* 2012). Além disso, o modelo proposto por Yan prevê o comportamento das curvas de ruptura com ótima precisão, sendo um ponto positivo do modelo, mesmo que seja complicado relacionar o parâmetro a em situações experimentais (OLIVEIRA, 2014). O modelo é descrito pela Equação 2 (ALBADARIN *et al.,* 2012).

$$\frac{C}{C_o} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{Q q_{YAN} m t}{C_0}\right)^a} \qquad (2)$$

Onde, C_0 é a concentração do adsorvato na solução de entrada (mg L^{-1}), C é a concentração do adsorvato no tempo t (mg L^{-1}), Q é a vazão volumétrica (mL min^{-1}), m é a massa de adsorvente (g), t é o tempo (min), q_{YAN} é a capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1}) e a é o parâmetro do modelo de Yan.

2.3. MODELO DE CLARK

O modelo proposto por Clark foi baseado no modelo matemático das isotermas de Freundlich combinado com a teoria de transferência de massa. O modelo não linearizado é expresso pela Equação 3 (CLARK, 1987).

$$\frac{C}{C_0} = \left(\frac{1}{1 + Ae^{-K_c t}}\right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (3)$$

Onde, C é a concentração no tempo t (mg L^{-1}), C_0 é a concentração inicial (mg L^{-1}), A é a constante de Clark, Kc é o coeficiente de transferência de massa (mg L^{-1} mg^{-1}), t é o tempo (min) e n é a constante de Freundlich.

2.4. MODELO (BDST)

O modelo BDST, inicialmente proposto por Bohart-Admas (1920), relaciona a altura do leito com o tempo de operação e pode ser usado para estimar a altura necessária para um determinado tempo de serviço de uma coluna (NASCIMENTO *et al.,* 2014). A Equação 4 representa o modelo (MITRA et al., 2014).

$$t = \frac{N_0}{C_0 U_0} Z - \frac{1}{K_{AB} C_0} \ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right) \quad (4)$$

Onde, C é a concentração no tempo t (mg L^{-1}), C_0 é a concentração inicial (mg L^{-1}), t é o tempo de operação (min), K_{AB} (L min^{-1} mg^{-1}) é a constante cinética, N_0 é a capacidade máxima de adsorção do adsorvente (mg L^{-1}), Z é o comprimento do leito (cm) e U_0 é a velocidade de fluxo linear (cm min^{-1}).

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. PREPARO DO ADSORVENTE

Para potencializar a capacidade adsortiva da casca de arroz (fornecida por um produtor rural da cidade de Imbé de Minas, Minas Gerais), a mesma foi tratada baseando-se na metodologia usada por Mimura e colaboradores (2010). A casca foi lavada com água destilada, a temperatura ambiente e a 100 °C, alternadamente, até que a água da lavagem saísse límpida. O material foi, então, tratado com solução NaOH 0,5 mol L^{-1}, a 50 °C, durante 4 horas. A casca foi enxaguada com água destilada até que atingisse um pH aproximadamente igual a 7 e levada para uma estufa (Mod. Q317M QUIMIS) a 60 °C por um período de 24h para secagem. A casca foi, então, triturada e através de um conjunto de peneiras vibratórias (BERTEL Indústria Metalúrgica Ltda.), separou-a nas granulometrias desejadas.

3.2. ADSORÇÃO EM LEITO FIXO

Utilizou-se uma coluna de vidro com 2 cm de diâmetro e 50 cm de altura. O sistema de alimentação da coluna foi fluxo descendente. Colocou-se na base e no topo da coluna uma camada de aproximadamente 2 cm de esferas de vidro (3mm) e uma de aproximadamente

3 cm de algodão. As amostras foram coletadas na base da coluna em intervalos de tempos pré-determinados (10, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 400 min). O planejamento experimental dos ensaios de leito fixo encontra-se disposto na Tabela 1. Preparou-se uma solução estoque (5 g L^{-1}) de sulfato de alumínio (PA – Al_2SO_4, Reagen Ultrapure Chemicals do Brasil Ltda.) em água destilada e a partir dela preparou-se a solução com a concentração de alumínio necessária para cada experimento. O pH de cada solução foi aferido utilizando-se um pHmetro e ajustado com hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} (PA – NaOH, Cromatos Produtos Químicos Ltda.) e ácido clorídrico 1% (PA – HCl, Vetec).

Tabela 1 – Valores definidos para as variáveis do ensaio de adsorção em leito fixo.

Experimento	Concentração da solução ($mg.L^{-1}$)	Vazão de alimentação ($mL.min^{-1}$)	pH	Granulometria (mesh)	Altura do leito (cm)
1	5	6	6	32-48	2,0
2	10	6	6	32-48	2,0
3	20	6	6	32-48	2,0
4	C.O.	4	6	32-48	2,0
5	C.O.	10	6	32-48	2,0
6	C.O.	V.O.	4	32-48	2,0
7	C.O.	V.O.	5	32-48	2,0
8	C.O.	V.O.	pH.O.	12-32	2,0
9	C.O.	V.O.	pH.O.	<48	2,0
10	C.O.	V.O.	pH.O.	G.O.	1,0
11	C.O.	V.O.	pH.O.	G.O.	3,0

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3. ANÁLISES DAS AMOSTRAS

A curva de calibração foi montada a partir da absorbância obtidas pela leitura de padrões com concentrações conhecidas no espectrofotômetro UV/vis (Micronal, mod. AJX-1600 Spectrophotometer), com comprimento de onda de 535 nm, empregando-se uma cubeta de quartzo de caminho óptico de 1,0 cm. Para isso, preparou-se uma solução corante de eriocromocianina R (PA – $C_{23}H_{15}Na_5O_9S$, Reagent Ultrapure Chemicals do Brasil Ltda.) e uma solução tampão (pH 6) ácido acético (PA – $C_2H_4O_2$, Vetec) / acetato de sódio (PA – $C_2H_3O_2$, Êxodo Científica). Os padrões foram preparados com diferentes concentrações de Al^{3+} a partir de uma solução estoque de 250 mg L^{-1} de sulfato de alumínio. Para isto, foram coletados diferentes volumes dessa solução e dispostos em balões volumétricos de 50 mL. Em cada balão foram adicionados 5 mL de solução corante, 5 mL de tampão (pH = 6) e avolumou-se com água destilada para 50 mL.

O teor de alumínio das amostras coletadas na saída da coluna também foi analisado no espectrofotômetro com o mesmo comprimento de onda e cubeta. As amostras para a leitura foram preparadas adicionando 3 mL de cada amostra coletada a um balão volumétrico de 50 mL. Adicionou-se 5 mL da solução tampão, 5 mL da solução de eriocromocianina e avolumou-se com água destilada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CURVA DE RUPTURA E ZTM

As curvas de ruptura correspondentes aos ensaios de adsorção do presente trabalho podem ser observadas nesta seção. A partir dos dados obtidos, calculou-se o valor da zona de transferência de massa (ZTM) para cada caso. A seguir estão descritos os resultados encontrados assim como o efeito da variação da concentração de alumínio na solução inicial, vazão de alimentação, pH, granulometria do adsorvente e altura do leito. A Tabela 2 apresenta as condições experimentais utilizadas para avaliar o desempenho da coluna e os valores de capacidade de adsorção no tempo de ruptura (q_r), capacidade de adsorção no tempo de exaustão (q_e) e o valor da ZTM para cada ensaio.

Tabela 2 – Valores das capacidades de adsorção e ZTM para cada ensaio

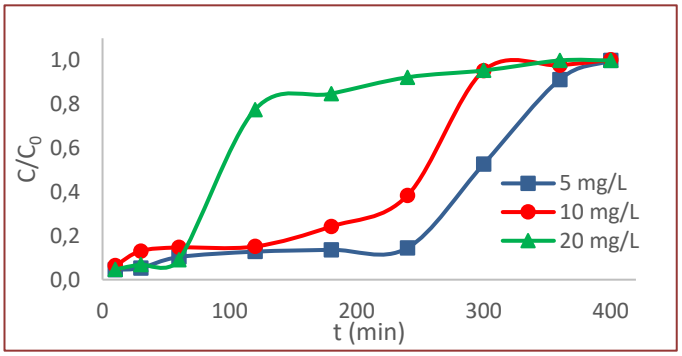
Concentração (mg L^{-1})	Vazão (mL min^{-1})	pH	Tamanho partícula (mesh)	Altura do leito (cm)	q_r (mg g^{-1})	q_e (mg g^{-1})	ZTM
5	6	6	32-48	2,0	0,487	3,800	0,206
10	6	6	32-48	2,0	0,321	3,466	0,703
20	6	6	32-48	2,0	0,654	6,752	0,644
5	4	6	32-48	2,0	0,108	2,653	1,429
5	10	6	32-48	2,0	0,268	3,645	0,969
5	6	4	32-48	2,0	0,487	3,615	0,114
5	6	5	32-48	2,0	0,486	3,621	0,123
5	6	4	12-32	2,0	0,164	1,668	0,626
5	6	4	< 48	2,0	0,486	3,418	0,007
5	6	4	< 48	1,0	0,286	1,824	0,372
5	6	4	< 48	3,0	0,426	3,418	0,005

Fonte: Elaborada pelo autor.

Efeito da Concentração

Como pode ser observado na Tabela 2 e na Figura 2 a concentração inicial de 5 mg L^{-1} de Al^{3+} apresentou menor ZTM e maior tempo de ruptura, embora não tenha apresentado a maior capacidade de adsorção. A curva de ruptura reflete a forma da ZTM. Quanto menor esta região, mais próximo da idealidade o sistema se encontra e maior o tempo de serviço da coluna durante o estágio de alimentação. Geralmente, o tempo de ruptura diminui à medida que a concentração inicial aumenta (NASCIMENTO *et. al.,* 2014), o que foi observado em tais ensaios. O formato menos acentuado da curva de ruptura da vazão de 5 mg L^{-1} pode ser explicado pelo fato de a baixa concentração residual de alumínio fazer com que a adsorção ocorra de forma mais lenta. Assim, a melhor concentração foi a de 5 mg L^{-1}.

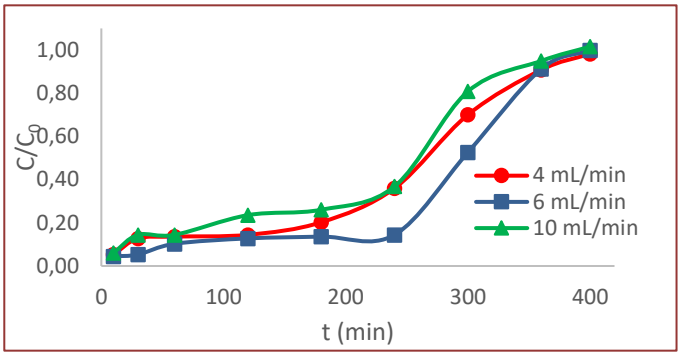
Figura 2 – Curvas de ruptura para vazão de 6 mL min^{-1}, massa de adsorvente 1,75g (2,0 cm de altura), pH 6, granulometria 32-48 mesh nas concentrações iniciais 5, 10 e 20 mg L^{-1}.



Efeito da Vazão

No estudo do efeito da vazão, observa-se que a vazão de alimentação de 6 mL min^{-1} apresentou o maior tempo de ruptura, uma menor ZTM e uma maior capacidade de adsorção. Usualmente, o tempo de ruptura diminui à medida que a vazão de alimentação aumenta (NASCIMENTO *et al.,* 2014). Entretanto, o tempo de ruptura para a vazão de 4 mL min^{-1} não foi maior em relação à vazão de 6 mL min^{-1}. Isso pode ter acontecido devido ao maior tempo de contato entre a fase fluida e a fase sólida na vazão de 6 mL min^{-1}, o que promove uma maior interação entre as fases levando à saturação da coluna em menos tempo. Já para a vazão de alimentação de 10 mL min^{-1} observa-se um menor tempo de ruptura em relação à vazão de 6 mL min^{-1}. O aumento da vazão diminui o tempo de retenção e pode também levar à formação de caminhos preferenciais no leito, principalmente quando o fluxo é descendente, fazendo com que determinadas regiões da coluna se tornem saturadas mais rapidamente. Além disso, o aumento da vazão pode gerar uma zona de compactação indesejada diminuindo a ZTM. Tais resultados são compatíveis com os resultados obtidos por Oliveira (2014), que avaliou a adsorção de alumínio em carvão ativado e concluiu que menores vazões favorecem a adsorção, ao passo que vazões mais elevadas diminuem o tempo de contato e podem incentivar a formação de canais preferenciais. Assim, podemos concluir que a melhor vazão foi a de 6 mL min^{-1}.

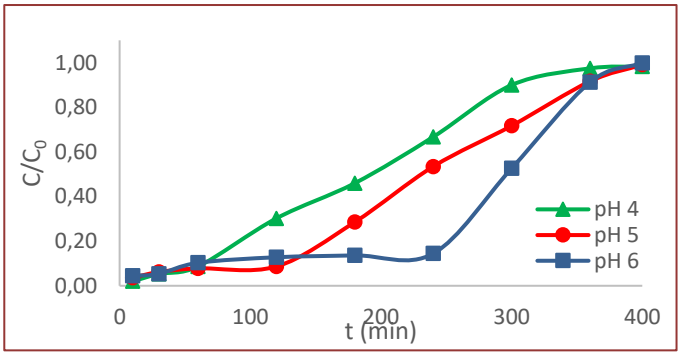
Figura 3 – Curvas de ruptura para concentração de 5 mg L^{-1}, massa de adsorvente 1,75g (2,0 cm de altura), pH 6, granulometria 32-48 mesh e vazões de alimentação 4, 6 e 10 mL min^{-1}.



Efeito do pH

No estudo do efeito do pH restringiu-se à faixa de 4 a 6 levando-se em consideração o valor do pH da precipitação máxima do alumínio, que é aproximadamente 6. O estudo revelou que o ensaio com pH 6 apresentou o maior tempo de ruptura em relação aos ensaios com outros pHs, mas não apresentou a menor ZTM. Uma possível causa desse falso positivo é a precipitação de uma quantia de alumínio que interferiria no processo de adsorção. O pH igual a 4 apresentou menor ZTM e, assim, foi o que possuiu melhores resultados, tendo em vista que quanto menor a ZTM, maior o tempo de serviço da coluna e maior adsorção obtida.

Figura 4 – Curvas de ruptura para concentração de 5 mg L^{-1}, massa de adsorvente 1,75g (2,0 cm de altura), vazão de alimentação 6 mL min^{-1}, granulometria 32-48 mesh e diferentes pHs 4, 5 e 6.

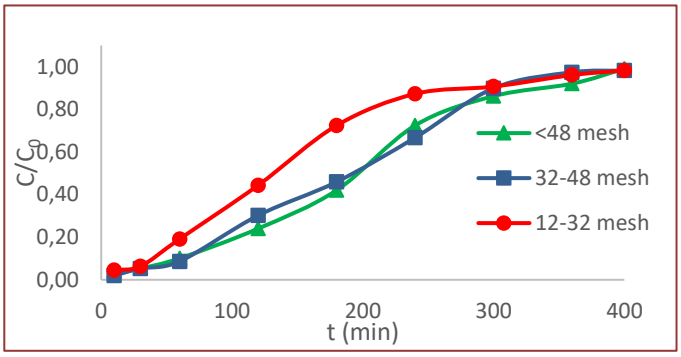


Efeito da Granulometria

Observa-se na Tabela 2 que a ZTM para a granulometria de <48 foi consideravelmente baixa em relação as outras granulometrias. Analisando-se a Figura 5 é possível observar que o tempo ruptura para tamanho da partícula < 48 mesh foi maior se comparado com as partículas de 12-32 mesh e muito aproximado aos das partículas de 32-48 mesh. Pode-se concluir que a granulometria < 48 mesh apresentou um melhor desempenho levando em conta o valor da ZTM, apesar da pequena diferença no tempo de ruptura. É esperado

que quanto menor o tamanho da partícula maior seria o tempo de ruptura (NASCIMENTO *et al.*, 2014), entretanto, não se pode avaliar as melhores condições de adsorção considerando apenas a granulometria, deve-se levar em consideração a disponibilidade de sítios ativos. Uma redução no tamanho da partícula não garante uma maior adsorção uma vez que isso não significa aumento de sítios ativos disponíveis.

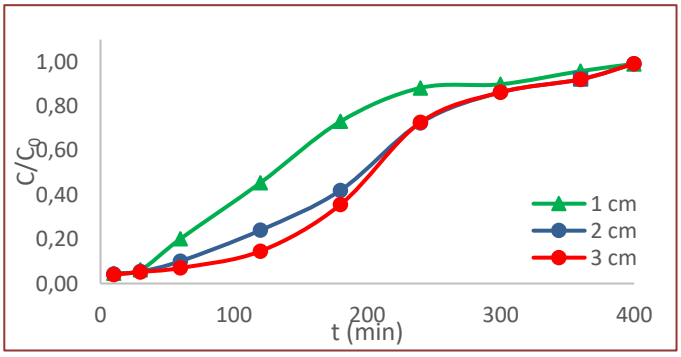
Figura 5 – Curvas de ruptura para concentração de 5 mg L^{-1}, massa de adsorvente 1,75g (2,0 cm de altura), vazão de alimentação 6 mL min^{-1}, pH 4 e granulometrias 12-32, 32-48 e < 48 mesh.



Efeito da Altura do Leito

Na análise do efeito da altura do leito observa-se que a altura igual 3 cm foi a que apresentou menor ZTM. O tempo de ruptura é proporcional ao aumento da altura do leito (NASCIMENTO *et al.,* 2014) e na Figura 6 é possível visualizar que a altura de 3 cm possui um tempo de ruptura aproximado ao da altura de 2 cm, e maior do que a de 1 cm. O aumento da altura do leito ocasiona à uma maior zona de adsorção ao longo da coluna e um aumento da capacidade adsortiva do leito, porém isso não foi observado nesse experimento. Os resultados obtidos por Oliveira (2014) são compatíveis com os obtidos nessa rodada de experimento. Na análise da ZTM, a altura de 2 cm apresentou valores bem próximos aos valores de 3 cm, mas ainda assim a altura de 3 cm prevalece a melhor.

Figura 6 – Curvas de ruptura para concentração de 5 mg L^{-1}, vazão de alimentação 6 mL min^{-1}, pH 4, granulometria < 48 mesh e massa de adsorvente 1, 1,75 e 2 g (1, 2 e 3,0 cm de altura).



4.2. MODELOS

Os modelos de Thomas, Yan, Clark e BDST foram utilizados para prever o comportamento das curvas de ruptura.

Os dados experimentais foram ajustados ao modelo não linear de Thomas para determinar a capacidade máxima de adsorção do adsorvente (q_{TH}) e a constante de Thomas (k_{TH}) para cada ensaio de otimização. A soma dos quadrados dos erros (SSE) foi examinada para os dados e os coeficientes, dispostos na Tabela 3, foram determinados para os menores valores de erro. Os coeficientes R^2 encontrados a partir da regressão não linear da Equação 1 apresentou valores satisfatórios, variando de 0,87 a 0,99. Isso indica que o modelo de Thomas teve uma boa predição da adsorção de alumínio com casca de arroz.

Os dados da coluna foram ajustados ao modelo de Yan a fim de se obter a capacidade adsortiva (q_{yan}) e a constante de Yan (a) por ajuste não linear da Equação 2, plotando-se C/C_0 *versus* tempo. Assim como no modelo de Thomas, analisou-se a SSE, determinando os coeficientes. Os resultados estão dispostos na Tabela 3. Esse modelo apresentou valores de R^2 entre 0,77 e 0,98. O modelo de Yan minimiza um erro encontrado no modelo de Thomas e, geralmente, encontra-se valores de R^2 melhores com ele. Isto não aconteceu neste trabalho.

Os modelos de Thomas e Yan possuem as mesmas considerações e são usados para descrever processos que não são limitados pela difusão externa e intra-partícula, considerando que a transferência de massa na superfície sólida é a etapa limitante e o equilíbrio de adsorção pode ser representado pela isoterma de Langmuir (NASCIMENTO *et al.,* 2014). As capacidades de adsorção q_{TH} e q_{YAN} variaram da mesma forma. O aumento da concentração inicial levou a um aumento na capacidade adsortiva, entretanto a concentração de 10 mg L^{-1} foi a que apresentou maior capacidade, mas também foi a que apresentou menor R^2. O aumento da vazão, assim como a elevação do pH, resultou no aumento das capacidades adsortivas. Em contrapartida, o aumento da granulometria e da altura de leito levaram à uma redução nos valores de capacidade.

Os dados experimentais foram ajustados ao modelo de Clark para determinar a constante de Clark (A), o coeficiente de transferência de massa (k_c) e a constante de Freundlich (n). Assim como nos modelos anteriores, os coeficientes foram determinados pela análise da soma dos quadrados dos erros e estão dispostos na Tabela 3. Para este modelo, os valores de R^2 variaram de 0,95 a 0,99, sendo este o modelo que correlacionou melhor com os dados experimentais.

Observou-se que o aumento da concentração inicial de alumínio levou a uma diminuição seguida de aumento nos valores k_c, assim como o aumento do pH. O aumento da vazão levou a um aumento seguido de diminuição de k_c, assim como o aumento da granulometria. Por fim, o aumento da altura de leito levou a um aumento no valor de k_c.

Os dados experimentais foram ajustados ao modelo BDST para determinar a constante cinética (k_{AB}) e a capacidade máxima de adsorção do adsorvente (N_0). A partir de valores de C/C_0 determinados pelo autor (0,045; 0,2; 0,4 e 0,6) plotou-se as suas respectivas curvas tempo *versus* altura e a partir da equação da reta de cada uma foi possível determinar os valores dos coeficientes. Tais valores estão dispostos na Tabela 4. Para esse modelo, os valores de R^2 variam de 0,97 a 0,99, o que representa uma boa correlação.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, estudou-se a adsorção de alumínio em casca de arroz tratada com NaOH e em leito fixo. A casca de arroz apresentou grande potencial e eficiência como biossorvente de baixo custo na remoção do metal estudado, indicando desse modo que esta é uma boa alternativa para o tratamento de águas e efluentes contaminados por alumínio. Através das curvas de ruptura obtidas experimentalmente, foi possível determinar o efeito da vazão de alimentação, pH, concentração de alumínio, granulometria da casca de arroz e altura do leito. A baixa concentração de alumínio (5 mg L^{-1}) favoreceu a adsorção, pois possibilitou um maior tempo de uso da coluna apresentando um maior tempo de saturação. O estudo comparativo entre as três vazões utilizadas mostrou que a vazão de 6 mL min^{-1} é mais apropriada para a adsorção no leito, pois proporcionou um tempo de contato suficiente para a interação entre as fases líquidas e sólida. O pH 4 favoreceu a adsorção, uma vez que apresentou menor ZTM. A granulometria de <48 mesh foi, dentre as utilizadas, a que apresentou menor ZTM, sendo a que obteve melhor resultado. Por fim, a altura de leito 3 cm é a mais adequada pois apresentou menor valor de ZTM. Todos os modelos analisados obtiveram uma boa correlação com os dados experimentais, sendo que o Modelo de Clark apresentou os melhores valores de R^2.

Tabela 3. Coeficientes obtidos para os modelos de Thomas, Yan e Clark.

Parâmetros					Modelo de Thomas			Modelo de Yan			Modelo de Clark			
Concentração (mg L^{-1})	Vazão (mL min^{-1})	pH	Tamanho partícula (mesh)	Altura do leito (cm)	q_{TH} (mg g^{-1})	k_{TH} (mL min^{-1} mg^{-1})	R^2	q_{YAN} (mg g^{-1})	a	R^2	k_C (mg L^{-1} min^{-1})	n	A	R^2
5	6	6	32-48	2,0	5,03098	5,99989	0,92245	5,02083	9,84311	0,90887	0,02328	1,00557	3,31709	0,95760
10	6	6	32-48	2,0	8,06082	2,25984	0,87316	8,17198	7,05149	0,83327	0,01767	1,07732	3,31308	0,99829
20	6	6	32-48	2,0	6,73505	2,44261	0,95736	6,52316	3,91705	0,97031	0,03277	1,13842	2,29385	0,99913
5	4	6	32-48	2,0	2,89967	3,40344	0,92724	2,89276	5,31142	0,87159	0,01295	1,17863	3,31411	0,97386
5	10	6	32-48	2,0	6,66910	3,08930	0,87488	6,77469	4,91788	0,77907	0,01081	1,37591	3,31304	0,95506
5	6	4	32-48	2,0	3,20463	3,38471	0,98731	2,97749	3,10171	0,95604	0,01327	1,38087	3,31369	0,99247
5	6	5	32-48	2,0	4,02399	3,46033	0,98724	3,89897	4,30227	0,96432	0,01319	1,21685	3,31467	0,99459
5	6	4	12-32	2,0	2,32374	4,03279	0,98696	2,07951	2,49993	0,98440	0,01410	1,09656	0,42515	0,99591
5	6	4	< 48	2,0	3,28379	3,43359	0,99516	3,12551	3,39275	0,96581	0,01322	1,36072	3,31399	0,99678
5	6	4	< 48	1,0	4,00648	4,04913	0,98370	3,56584	2,45078	0,98326	0,01397	1,06683	0,27603	0,99415
5	6	4	< 48	3,0	3,03870	4,05021	0,99038	2,96233	4,39882	0,97843	0,01519	1,21814	3,31527	0,99407

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4. Coeficientes obtidos pelo modelo BDST.

C/C_0	a	b	N_0	K_{AB}	R^2
0.045	4	5,6667	19,09859	-0,10782	0,9796
0.2	37,5	24,333	179,0493	-0,01139	0,9929
0.4	42,5	68	202,9226	-0,00119	0,9801
0.6	38,5	116	183,8239	0,00069	0,9758

Fonte: Elaborada pelo autor.

REFERÊNCIAS

[1] AHMARUZZAMAN, M, SHARMA, D. K. A*dsorption of phenols from wastewater.* Journal of Colloid and Interface Science, v. 287, p14-24, 2005.

[2] AKLIL, A.; MOUFLIH, M.; SEBTI, S. Removal of metal ions from water by using calcined as a new absorbent. *Journal of Hazardous Materials*, v. 112, n. 3, p. 183-190, 2004.

[3] AKSU. Z. Equilibrium and kinetic modeling of cadmium (II) biosorpition by C. Bulgaris in a batch system: effect of temperature. Separation and Purification Technology. 2001; (21): p.285- 294.

[4] ALBADARIN, A. B.; MANGWANDI, C.; AL-MUHTASEB, A. H.; WALKER, G. M.; ALLEN, S. J.; AHMAD, M. N. M. Modelling and Fixed Bed Column Adsorption of Cr(VI) onto Orthophosphoric Acid-activated Lignin. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 20, p. 460–477, 2012.

[5] BAIRD, C. Química Ambiental. 2 ed. *Bookman*. Porto Alegre – RS, 2002.

[6] CARDORIN, L. M. *Desenvolvimento de técnicas de remoção de íons sulfato de efluentes ácidos de minas por precipitação química e flotação por ar dissolvido.* 102 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

[7] CHIVOLA, A.; D'AMATO, E.; BACIOCCHI, R. Ion exchange treatment of groundwater contaminated by arsenic in the presence of sulphate. *Breakthrough experiments and modeling. Water Air Soil Pollut*, v. 223, p. 2373-2386, 2012.

[8] COONEY, D. O. Adsorption Design for Wastewater Treatment. *Boca Raton*, Florida: CRC Press, 1999.

[9] COUTINHO, P. L. J. *Avaliação da remoção de Al^{3+} em meio aquoso por adsorção em casca de arroz in natura e cascas modificadas quimicamente.* Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Santa Catarina. 84 p. 2015.

[10] CLARK, R.M. Evaluating the cost and performance of field-scale granular activated carbon systems. *Environ. Sci. Technol.*v. 21, p. 587-590, 1987

[11] DEVECCHI, G. C. R. Níveis de alumínio e zinco em água coletada em dois municípios que possuem diferentes fontes de captação e tratamento no estado de São Paulo. *O mundo da saúde*. São Paulo, v. 4, n. 30, p. 619-627, 2006.

[12] EL-SAYED, S. M; GOHER, M. E.; HASSAN, A. M.; ABDEL-MONIEM, I. A., FAHMY, A. H. & ABDO, M. H. Removal of aluminum, iron and manganese ions from industrial wastes using granular activated carbon and Amberlite IR-120H, The Egyptian Journal of Aquatic Research, v. 41, n. 2, 2015, p. 155-164.

[13] FLATEN, T. P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water, *Brain Research Bulletin*, v 55, n. 2, p. 187-196, 2001.

[14] FOLZKE, C. T. *Estudo da remoção de alumínio de água para abastecimento utilizando quitosana. Dissertação (mestrado),* Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, SC, 138 p., 2013.

[15] HAMOULE, T.; POUR, P. G. & TAKASSI, M. A. Removal of Aluminum from Water and Industrial Waste Water. *Oriental Scientific Publishing*, v. 30, n. 3, p. 1365-1369, 2014.

[16] JUSSIPBEKOV, U. Z. H; SULTANBAYEVA, G. S. H.; HOLZE, R.; CHERNYAKOVA, R.M. Removal of Fe^{2+}, Cu^{2+}, Al^{3+} and Pb^{2+} ions from phosphoric acid by sorption on carbonate-modified natural zeolite and its mixture with bentonite, *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 170, p. 173-180, 2013.

[17] KAZI, T. G. *et al.* Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 72, 2009.

[18] LOBO-RECIO, M. A.; LAPOLLI, F. R.; BELLI, T.J.; FOLZKE, C.T.; TARPANI, R.R.Z; Study of the removal of residual aluminum through the biopolymers carboxymethylcellulose, chitin, and chitosan. *Desalination and Water Treatment*, v. 51, 7-9, 2013.

[19] MARIANO, J. B. *Impactos Ambientais do Refino de Petróleo.* VIII, 216 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2001), Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

[20] MARTYN C. N.; COGGAN, D.; INSKIP, H., LACEY, R.F.; YOUNG W.F. *Aluminum concentrations in drinking water and risk of Alzheimer's disease. Epidemiology*, 8(3):281-6, 1997.

[21] MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B. & GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu2+, Al3+, Ni2+ e Zn2+. *Quím. Nova*, vol.33, n.6, pp.1279-1284, 2010.

[22] MITRA, T. et al. Removal of Pb(II) ions from aqueous solution using water hyacinthroot by fixed-bed column and ANN modeling. *Journal Of Hazardous Materials*, Amsterdam, p. 94-103, mar. 2014.

[23] NASCIMENTO, R. F., LIMA, A. C. A., VIDAL, C. B., MELO, D.Q., RAULINO, G. S. C. *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.* Fortaleza: Imprensa Universitária, 256p., 2014.

[24] OLIVEIRA, L. R. *Remoção de alumínio em sistema contínuo por adsorção em coluna de leito fixo com carvão ativado.* 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

[25] RIANI, J. C. *Utilização de resinas de troca iônica em efluentes de galvanoplastia.* Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 121 p., São Paulo, 2008.

[26] SILVEIRA, P. C. Reciclagem de resíduos do tratamento do alumínio (anodização), Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI GAM (3021) – Gestão de Resíduos Sólidos, 2010.

[27] SOUZA, W. F. Adsorção de metais tóxicos em efluente aquoso usando pó da casca de coco verde tratado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2007.

[28] THOMAS, H.C. Heterogeneous ion exchange in a flowing system, J. Am. *Chem. Soc*.,v.66, p.1466–1664, 1944

Capítulo 6

Íons fluoreto em águas: efeitos adversos à saúde humana e aplicação da eletrocoagulação-flotação como técnica de remoção – uma mini revisão

Luise Barreto Röpke
Ana Carolina Ferreira Piazzi Fuhr
Elvis Carissimi
Salatiel Wohlmuth da Silva
Jandira Leichtweis

Resumo: A água constitui um recurso natural indispensável à manutenção da vida e deve ser disponibilizada à população em condições seguras, com qualidade e quantidade adequadas. Em diversas regiões, as águas subterrâneas representam a principal fonte de abastecimento, sendo, portanto, de grande relevância o monitoramento de sua composição química. O flúor presente nessas águas pode ter origem **natural**, decorrente da dissolução de minerais fluoretados, ou antropogênica, associada a atividades industriais e ao uso de fertilizantes. Em concentrações adequadas, o fluoreto exerce efeito benéfico à saúde bucal, contribuindo para a prevenção da cárie dentária. Contudo, a ingestão excessiva está associada ao desenvolvimento de **fluorose dentária** e f**luorose esquelética**, condições que comprometem a saúde humana. A **Organização Mundial da Saúde (OMS)** recomenda que a concentração máxima de fluoreto na água destinada ao consumo humano não ultrapasse **1,5 mg L^{-1}**. Diante desse limite, diversos métodos de **desfluoretação** têm sido estudados e aplicados para garantir a potabilidade da água. Entre eles, destaca-se a **técnica de Eletrocoagulação-Flotação (ECF)**, que integra os princípios da coagulação, flotação e processos eletroquímicos. Essa tecnologia tem se mostrado uma alternativa promissora para o tratamento de águas contaminadas, devido à sua eficiência, simplicidade operacional e menor geração de resíduos químicos. Esta revisão aborda as problemáticas associadas à presença de íons fluoreto em águas subterrâneas e seus efeitos adversos à saúde humana, além de discutir as principais estratégias empregadas na remoção desse íon. Enfatiza-se, em especial, a técnica de ECF, destacando-se as características de seus reatores, bem como os parâmetros operacionais que influenciam a eficiência do processo de remoção de fluoretos.

Palavras-Chave: Íons fluoreto; saúde humana, qualidade da água; eletrocoagulação-flotação.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida e deve ser fornecida para todos de forma segura, em quantidade e qualidade adequada (Lei nº 9.433, 1997; WHO, 2011). Em muitos locais, as águas subterrâneas são fonte essencial de abastecimento para diversas populações (Brindha, Elango, 2011). O fluoreto encontrado em águas subterrâneas pode ter origem natural ou antropogênica. Fontes naturais incluem o intemperismo de rochas e minerais ricos em fluoreto, atividades vulcânicas e seu transporte natural pelo ar e pela água. As fontes antropogênicas envolvem processos industriais como a geração de energia a carvão, a fabricação de tijolos e cerâmica, a produção de alumínio e de fertilizantes fosfatados, assim como o uso agrícola desses fertilizantes (Fuge, 2019; Lacson, Lu, Huang, 2021; Vithanage, Bhattacharya, 2015). O consumo de fluoreto pode ser benéfico ou maléfico aos seres humanos, a depender da quantidade ingerida (FUNASA, 2012; Ayoob, Gupta, 2006). Quando presente em uma dosagem mínima na água, promove a prevenção da cárie dentária, entretanto, seu consumo em excesso é relacionado a doenças como a fluorose dentária e esquelética (Brindha, Elango, 2011; WHO, 2011; Lacson, Lu, Huang, 2021). Ahmad et al. (2025), relatam que o efeito gerado em diferentes partes do corpo humano depende da concentração e do tempo de exposição aos íons fluoreto.

A OMS recomenda que a água utilizada para abastecimento humano apresente uma concentração máxima de fluoreto de 1,5 mg/L, considerando esse valor como seguro para uso em atividades domésticas (WHO, 2011). Em locais onde ocorrem concentrações elevadas de fluoreto em águas subterrâneas utilizadas para abastecimento, a saúde da população será protegida ao implementar um tratamento que vise a remoção do excesso de íons fluoreto previamente identificado (Pant et al., 2022). A desfluoretação visa, principalmente, tornar a água pura, atendendo todos os critérios exigidos para utilização humana conforme legislações vigentes, incluindo a concentração de íons fluoreto no limite permitido. Pode-se dividir as técnicas utilizadas para remoção de íons fluoreto da água em quatro categorias principais, sendo elas a coagulação/precipitação, a adsorção, a separação por membranas e as técnicas eletroquímicas (Solanki et al., 2022; Vithanage, Bhattacharya, 2015).

A ECF uma técnica eletroquímica que combina a oxidação, a floculação e a flotação (Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011). Algumas das vantagens da ECF incluem a formação de flocos que se separam mais rapidamente por filtração, a produção de efluentes com menor teor de sólidos dissolvidos totais, partículas coloidais menores que apresentam maior facilidade de remoção, dentre outras (Emamjomeh, Sivakumar, Schafer, 2004). Foram desenvolvidas diversas pesquisas que aplicaram a ECF para a desfluoretação as quais apresentaram ótimos resultados (Bracher, 2022; Emamjomeh, Sivakumar, 2006; Emamjomeh, Sivakumar, 2009; Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011; Essadki et al., 2009; Hu et al., 2005; Hu et al., 2008; Somavilla, 2020; Takdastan et al., 2015). De acordo com Jafari et al. (2023) um reator de ECF alcança sua máxima eficiência quando produz a quantidade adequada de coagulante, sendo essencial analisar a faixa de aplicação ótima de diversos parâmetros que afetam a eficiência de remoção em um sistema de ECF. Emamjomeh, Sivakumar (2009) ao estudarem a remoção de íons fluoreto por um reator de ECF de fluxo contínuo analisaram alguns desses parâmetros, destacando o pH, a densidade de corrente e a vazão.

Assim sendo, esta pesquisa buscou elucidar as problemáticas relacionadas à presença de íons fluoreto em águas subterrâneas utilizadas para o abastecimento humano, enfatizando sua relação com a saúde dos consumidores. Além disso, buscou-se descrever as diferentes técnicas de tratamento de água empregadas na remoção de íons fluoreto,

com ênfase na ECF, apresentando as principais características de seus reatores e os fatores operacionais que afetam a eficiência de remoção de íons fluoreto.

2. PRESENÇA DE ÍONS FLUORETO EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

A água é um recurso natural essencial à vida e deve ser fornecida para todos de forma segura, em quantidade e qualidade adequada. Existe uma relação positiva entre o aumento da disponibilidade de água potável de qualidade e as condições de saúde das populações que a consomem (Lei nº 9.433, 1997; WHO, 2011). Entretanto, não há um padrão universal que defina a água potável de qualidade como segura para todos os locais do mundo, pois essa análise depende do uso para o qual ela é destinada. É desejável que ela seja apropriada para todas as atividades domésticas nas residências onde é disponibilizada. Ademais, diretrizes que estabelecem os limites aceitos para uma água potável segura variam conforme as condições ambientais, sociais, econômicas e culturais de cada região (WHO, 2011).

O consumo de fluoreto pode ser benéfico ou maléfico aos seres humanos, a depender da quantidade ingerida (FUNASA, 2012; Ayoob, Gupta, 2006). Esse elemento pode ser introduzido no organismo humano de diversas formas, tais como pela água, alimentos, bebidas e produtos odontológicos. Quando presente em uma dosagem mínima na água, promove a prevenção da cárie dentária. Entretanto, seu consumo em excesso é relacionado a doenças como a fluorose dentária e esquelética (Brindha, Elango, 2011; WHO, 2011; Lacson, Lu, Huang, 2021). Em razão desses fatores, a água tratada deve ser fluoretada para contribuir de forma benéfica para a saúde da população (FUNASA, 2012).

De todos os íons que possuem carga negativa, o flúor destaca-se como o elemento químico mais reativo. Em decorrência de sua elevada reatividade. O flúor não ocorre naturalmente no ambiente na sua forma elementar, apresentando-se na natureza em forma de compostos chamados fluoretos, estando amplamente distribuído na crosta terrestre. Pode ocorrer também no ar, plantas, animais, em lagos, rios, canais e principalmente em águas subterrâneas. Além disso, é considerado um poluente não biodegradável, perigoso e persistente (Ahmad Dar, Kurella, 2023; FUNASA, 2012; Lacson, Lu, Huang, 2021; Singh et al., 2018; WHO, 2011).

As águas subterrâneas são, em muitos locais, fonte essencial de abastecimento para diversas populações. Entretanto, é raro que ocorram processos de tratamento físico ou químico antes de seu uso. Neste caso, se a concentração de fluoreto for superior aos limites recomendados, o consumo dessa água pode resultar em danos à saúde, sendo imprescindível monitorar os níveis desse elemento em fontes de captação (Brindha, Elango, 2011; Sahu, 2019). A OMS recomenda que a água utilizada para abastecimento humano apresente uma concentração máxima de fluoreto de 1,5 mg/L, considerando esse valor como seguro para uso em atividades domésticas (WHO, 2011). No Brasil, a nível federal, a portaria 888/2021 exige que a água potável que recebe adição de íons fluoreto não exceda o limite de 1,5 mg/L. Enquanto que, no Rio Grande do Sul, a Portaria 10/1999 designa como padrão de potabilidade águas que possuam concentração de íon fluoreto entre 0,6 mg/L a 0,9 mg/L, estabelecendo como ideal o teor de fluoreto de 0,8 mg/L. Ademais, a Portaria Estadual 415/2023 estabelece que, em períodos de estiagem formalizados por decreto municipal e/ou estadual, a concentração a ser respeitada é de 0,6 a 1,5 mg/L.

Shaji et al., (2024), alertam que mais de 100 países possuem águas subterrâneas com concentrações de fluoreto acima do limite máximo permitido pela OMS. Um estudo realizado por McMahon et al. (2020) utilizou dados de 38.105 poços para caracterizar a ocorrência de íons fluoreto nas águas subterrâneas dos Estados Unidos, dos quais 11.032 são domésticos e, normalmente, não tem sua qualidade monitorada, assim como não recebem fluoretação. A concentração máxima observada no estudo foi de 160 mg/L. Dos 38.105 poços monitorados, 4,3% e 1,6% possuem concentração de íons fluoreto acima de 2 mg/L e 4 mg/L, respectivamente. Enquanto que, dos poços domésticos, 2,6% e 0,6% apresentaram concentração de íons fluoreto superior a 2 mg/L e a 4 mg/L, respectivamente.

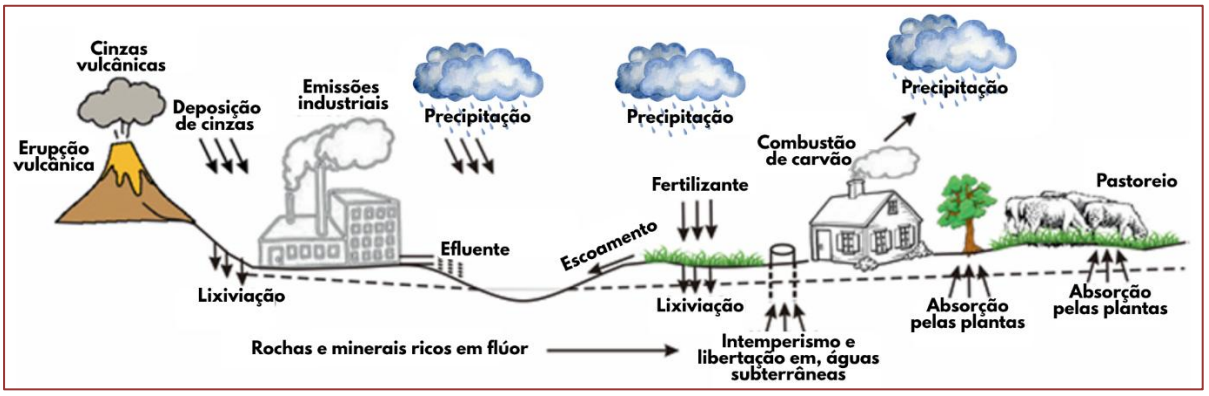
Ijumulana et al. (2017), ao realizarem um estudo sobre as concentrações de íons fluoreto em águas subterrâneas no norte da Tanzânia, observaram que 42% das amostras analisadas apresentavam concentrações de flúor acima de 1,5 mg/L. Dessas amostras, 118 possuíam concentrações de flúor entre 8,84 e 74,00 mg/L. Linhares et al. (2025), ao analisar os níveis de íons fluoreto de fontes de água existentes na cratera do vulcão Furnas (arquipélago dos Açores), identificou amostras com concentrações de flúor variando de 0,47 mg/L a 5,48 mg/L, das quais 72% estavam acima do limite máximo de 1,5 mg/L, recomendado para água potável.

Martins et al., (2018) estudaram as alterações nas concentrações de íons fluoreto nas águas subterrâneas de 18 poços localizados no município de São Paulo e constataram que, em 9 poços o limite máximo para água potável de 1,5 mg/L foi excedido. Ainda relataram que a maior concentração encontrada foi de 10 mg/L. Somavilla (2020) realizou o monitoramento físico-químico de dois poços por cerca de um ano e identificou que um dos poços, localizado no município de Santa Maria/RS, apresentou concentrações de íons fluoreto que variaram de 2,2 mg/L a 3,1 mg/L. Enquanto que, o segundo poço, localizado no município de Agudo/RS, apresentou concentração mínima e máxima de 2,2 mg/L e 4,8 mg/L de íons fluoreto.

2.1. FONTES DE ÍONS FLUORETO

O fluoreto encontrado em águas subterrâneas pode ter origem natural ou antropogênica, conforme Figura 1. Os processos naturais que liberam este elemento incluem o intemperismo de rochas e minerais ricos em flúor, atividades vulcânicas e seu transporte natural pelo ar e pela água. Por outro lado, as fontes antropogênicas envolvem processos industriais como a geração de energia a carvão, a fabricação de tijolos e cerâmica, a produção de alumínio e de fertilizantes fosfatados, assim como o uso agrícola desses fertilizantes (Fuge, 2019; Lacson, Lu, Huang, 2021; Vithanage, Bhattacharya, 2015).

Figura 1 – Representação esquemática de possíveis fontes de flúor para águas subterrâneas.



Fonte: Adaptado de Vithanage, Bhattacharya (2015).

De acordo com Do Amaral (2024), o uso e ocupação do solo é um dos fatores que podem influenciar o potencial de liberação de íons fluoreto para águas subterrâneas. O autor destaca que, em regiões com atividades agrícolas intensivas e utilização de fertilizantes contendo flúor, ocorrem maiores concentrações desse íon em águas subterrâneas.

Em locais onde há liberação contínua de flúor devido a atividades antrópicas, a capacidade de retenção deste elemento no solo pode ser superada, sendo o excedente lixiviado para as águas subterrâneas (Edmunds, Smedley, 2013). Por exemplo, a aplicação de fertilizantes sob irrigação torna os solos mais alcalinos, o que por sua vez, pode contribuir para maior liberação de fluoreto (Vithanage, Bhattacharya, 2015; Ayoob, Gupta, 2006).

Além disso, Do Amaral (2024) correlaciona os altos níveis de fluoreto em águas subterrâneas à presença de formações rochosas antigas, uma vez que o envelhecimento das rochas provoca fissuras e fraturas, facilitando a infiltração da água e consequentemente, a lixiviação do flúor presente nessas estruturas geológicas. Em concordância com Shaji et al. (2024), que enfatiza que o flúor nestes locais tem origem de fatores geológicos e hidrogeológicos. Assim como Brindha, Elango (2011) que destacam o intemperismo de rochas ricas em flúor como a principal causa de elevados teores desse elemento nas águas existentes no subsolo.

O flúor é o elemento halogêneo mais eletronegativo e encontra-se retido em muitos minerais, além disso, é um elemento móvel quando em condições de alta temperatura. Por apresentar um raio iônico semelhante ao do OH^-, substitui ligações de íons hidroxila em minerais presentes em rochas ígneas. Pode estar contido em rochas ígneas ácidas e formações sedimentares que sofreram reações biogeoquímicas (Edmunds, Smedley, 2013).

Esse elemento pode ser encontrado em diferentes minerais, como micas, fluorapatitas, fluorita, selaíta, bastnasita, criolita, villiaumita, biotites e anfibólios. Rochas ricas em alguns dos minerais citados, como as graníticas, após sofrerem a ação do intemperismo, podem liberar fluoreto para águas subterrâneas (Edmunds, Smedley, 2013; Lacson, Lu, Huang, 2021; Dhillon, Prasad; Kumar, 2017; Solanki et al., 2022; Wang et al., 2021).

Conforme Edmunds e Smedley (2013), é característico de águas subterrâneas que apresentam elevados teores de íons fluoreto possuir baixas concentrações de cálcio e pH neutro ou alcalino (entre 7 e 9). Podgorski e Berg (2022), relatam que regiões áridas e

semi-áridas estão associadas a concentrações elevadas de fluoreto, destacando que essa situação pode ser potencialmente agravada devido as mudanças climáticas, principalmente diante do possível aumento da temperatura, que resultaria em uma maior dependência de fontes subterrâneas para abastecimento.

O acesso à água potável é restrito e encontra-se sob constante pressão. A presença de poluentes em corpos hídricos pode não apenas causar efeitos deletérios a saúde humana, como também afetar os ecossistemas aquáticos e prejudicar a disponibilidade de água doce potável (Hakizimana et al., 2017). Edmunds e Smedley (2013) relatam que, em diversos países onde ocorrem altas concentrações de íons fluoreto, a presença do clima árido aliado a cobertura ou manutenção inadequada dos poços de captação para abastecimento, revela uma priorização da disponibilidade hídrica em detrimento da garantia da qualidade da água potável.

Aquíferos mais profundos tendem a possuir maiores teores de íons fluoreto em decorrência da exposição prolongada da água aos minerais, o que aumenta a interação entre a água e a rocha, favorecendo a dissolução dos minerais. Portanto, ao considerar a perfuração de poços para abastecimento, é imprescindível avaliar não apenas a disponibilidade hídrica, mas também as propriedades geoquímicas dos sedimentos, o tempo de residência da água e a sua qualidade (Edmunds, Smedley, 2013).

2.2. EFEITOS DA INGESTÃO DE ÍONS FLUORETO À SAÚDE HUMANA

No século XIX, ao observar a existência variável de flúor nos ossos e dentes, químicos começaram a sugerir uma possível relação entre esse elemento e a saúde humana. Ainda no final deste século, recomendou-se o uso de flúor por gestantes visando proteger sua saúde dentária. Na Inglaterra, no ano de 1892, foi proposto que o elevado índice de cáries dentárias estava relacionado à ingestão deficiente de flúor. Entretanto, cientistas da área médica formaram uma concreta correlação entre o flúor na água de abastecimento e a saúde bucal, apenas no primeiro trimestre do século XX (Edmunds, Smedley, 2013). No Brasil, a adoção da fluoretação como medida de combate à cárie foi discutida e proposta por meio de atos legislativos nas décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990, com posicionamentos variados e disputas nas esferas política, científica e burocrática. Contudo, somente em 24 de maio de 1974 a fluoretação de águas de abastecimento público, em locais atendidos por estação de tratamento, tornou-se obrigatória no país, por meio da Lei Federal nº 6.050 (Rossi, Moreira, De Barros, 2020).

A similaridade existente entre os raios iônicos do íon fluoreto (F^-) e do íon hidroxila (OH^-) confere ao flúor a capacidade de troca com seu semelhante em diversas estruturas. Fato que ocorre com a hidroxiapatita, principal mineral que compõem os dentes humanos e de outros animais. A fluorapatita $Ca_5(PO_4)_3F$ e a hidroxiapatita $Ca_5(PO_4)_3\,OH$ são membros finais isomórficos da série de soluções sólidas da apatita $Ca_5(PO_4)_3\,OH\,F$. Nesse caso pode ocorrer a substituição do íon OH^- pelo íon F^-, assim a hidroxiapatita dos dentes e ossos é convertida em fluorapatita (Vithanage, Bhattacharya, 2015). Ao realizar essa troca iônica, o flúor mantém os ossos e dentes saudáveis, pois o novo mineral formado é mais duro e resistente que o seu antecessor, além de ser menos solúvel e mais resistente ao ataque ácido. Dessa forma, a fluorapatita é utilizada para fortalecer e preservar o esmalte dos dentes contra ácidos provenientes de resíduos alimentares que permanecem na cavidade bucal (Kimambo et al, 2019). Todavia, quando há exposição a concentrações elevadas de íons fluoreto, essa conversão pode ocorrer em grandes quantidades, o que pode fazer com que a reação ultrapasse a substituição do hidróxido,

culminando no desenvolvimento de fluorose, uma vez que os ossos se tornam excessivamente densos, duros e quebradiços (Kimambo et al., 2019).

Assim, em teor ideal, o flúor é benéfico para a saúde bucal, evitando cáries. Entretanto, quando consumido em excesso pode desencadear problemas de saúde, como doenças da tireóide incluindo falhas no funcionamento deste órgão e condições neurológicas, além da fluorose dentária e esquelética associadas a outros efeitos ósseos, tais como, artrite, osteoporose, fratura óssea, dentre outras (Pant et al., 2022). O início dos sintomas inclui enfraquecimento muscular, fadiga crônica e rigidez nas articulações, além de poder atingir outros órgãos, como o coração, as artérias, o fígado, os rins, as glândulas endócrinas, o cérebro e os órgãos reprodutores (Lacson, Lu, Huang, 2021). Ainda pode levar a complicações clínicas, como diarreia aguda, salivação excessiva, perda de apetite, agitação, ansiedade, desidratação, hiperventilação e taquiarritmia (Ahmad Dar, Kurella, 2023). Ahmad et al. (2025), reitera que o efeito gerado em diferentes partes do corpo humano depende da concentração e do tempo de exposição aos íons fluoreto.

A fluorose dentária é uma doença que danifica e descolora o esmalte dos dentes (Pant et al., 2022). A severidade dessa enfermidade é diretamente proporcional ao teor de íons fluoreto consumido no decorrer do desenvolvimento dental. A estrutura do dente passa a ter manchas amarelas que podem evoluir para manchas marrons mais espessas, podendo até tornar-se pretas. A fluorose atinge tanto estruturas externas quanto internas do dente. De acordo com o índice de Dean, existem seis estágios classificados conforme critérios clínicos, que podem ser utilizados para identificar danos característicos causados no esmalte do dente do portador desta enfermidade, (NRC, 2006). A Tabela 1 apresenta os estágios da fluorose dentária e os respectivos critérios clínicos da doença.

Tabela 1 – Estágios de danos característicos causados pela fluorose dentária.

Estágio	Critério
0 - Normal	A superfície do esmalte apresenta-se lisa, brilhante e na coloração branca cremosa pálida.
1 – Questionável	É possível observar pequenas alterações na translucidez do esmalte normal, variando de manchas brancas a pontos brancos ocasionais.
2 – Muito Leve	Neste estágio enquadram-se dentes que apresentam uma pequena área opaca, branca como papel, espalhada irregularmente sobre o dente, mas que não ultrapassa 25% de sua superfície.
3 – Leve	Observam-se regiões brancas opacas mais extensas no esmalte dos dentes, porém inferiores a 50% do dente.
4 – Moderado	Estágio mais avançado onde todas as superfícies do esmalte dos dentes são afetadas e as que recebem atrito encontram-se acentuadamente desgastadas. Geralmente possuem manchas marrons.
5 – Severo	No último estágio todas as superfícies do esmalte apresentam-se comprometidas e o formato do dente pode ser modificado. Há ocorrência de manchas marrons generalizadas e os dentes apresentam aparência corroída.

Fonte: Adaptado de NRC (2006).

A fluorose esquelética, por sua vez, manifesta-se em seus primeiros estágios por meio de dores nos ossos e nas articulações, fraqueza muscular, dores ocasionais, rigidez nas

articulações e fadiga crônica. Com a progressão da enfermidade, observa-se a calcificação dos ossos, o desenvolvimento de osteoporose nos ossos longos e sintomas de osteosclerose, tornando os ossos mais densos e fazendo com que adquiram uma estrutura cristalina anormal. Em estágios mais avançados, essas condições dificultam a mobilidade, uma vez que os ossos e articulações tornam-se totalmente frágeis. Por fim, as vértebras da coluna se fundem, resultando na incapacidade funcional do enfermo (Brindha, Elango, 2011).

Em casos em que a coluna assumiu uma forma rígida e os ligamentos tornaram-se duros, o enfermo perde a capacidade de curvatura. Além disso, a fluorose causa distorções no esqueleto e frequentemente, os acometidos por essa doença apresentam cinturas distorcidas em ângulos retos afetando sua capacidade de levantar (Ahmad Dar, Kurella, 2023). Algumas alterações e deformidades provocadas pelo flúor nos dentes e ossos são irreversíveis e não dispõem de tratamento, sendo prontamente diagnosticadas de forma visual. Em contrapartida, a maioria das anomalias que afetam os órgãos, são reversíveis, com regressão do quadro clínico quando a exposição ao flúor é suspensa (Choubisa, 2022).

Além dos danos físicos, a fluorose esquelética, sobretudo em sua forma incapacitante, pode alterar significativamente a esfera social e econômica dos indivíduos acometidos, os quais sofrem com dores crônicas (Ayoob, Gupta, 2006; Srivastava, Flora, 2020). Tal condição vulnerabiliza os sujeitos afetados, expondo-os à perda de vínculos empregatícios e meios de subsistência, potencializa o surgimento de traumas psicológicos, limita a capacidade de arcar com os elevados custos médicos, e em casos mais extremos, culmina na perda da vontade de viver (Ayoob, Gupta, 2006). Agravando o cenário, é muito comum que o diagnóstico da doença seja realizado em estágio avançado, dificultando o seu tratamento (Brindha, Elango, 2011).

A presença de fluoreto em águas subterrâneas é um problema global, pois ocorre em diferentes locais do mundo (Lacson, Lu, Huang, 2021). Um estudo que analisou os fatores associados à qualidade da fluoretação em sistemas de abastecimento de água no Brasil em 2018 revelou que a qualidade da fluoretação foi menor nos municípios com maior desigualdade socioeconômica. O estudo demonstrou também que a qualidade da fluoretação está relacionada a características estruturais dos municípios, dimensões socioeconômicas e indicadores de capacidades gerenciais e técnicas vinculadas à vigilância hídrica (Belotti, Paulino, Frazão, 2024). Visto que a água potável tratada distribuída em áreas urbanas obrigatoriamente deve apresentar teores de íons fluoreto considerados seguros para a saúde, a fluorose tende a ocorrer de forma mais grave e crônica em zonas rurais e semi-urbanas, afetando populações mais pobres, fato constatado na Índia. Além disso, os efeitos causados pela doença podem ser agravados se a população apresentar falta de cálcio, vitaminas e nutrientes (Ayoob, Gupta, 2006).

Em regiões onde há maior incidência de fluoreto em águas de abastecimento, a existência de programas focados na saúde da comunidade atingida é imprescindível, possibilitando o diagnóstico e tratamento precoce da fluorose dentária e esquelética. Adicionalmente, o monitoramento da prevalência dessa condição constitui um elemento fundamental para a resolução do problema (Hossein et al., 2024). Concomitantemente, a saúde da população será protegida e o público terá acesso a água potável segura ao implementar um tratamento que vise a remoção do excesso de íons fluoreto previamente identificado em fontes de água. Dessa forma, o avanço da fluorose nesses locais será evitado (Pant et al., 2022).

No estado do Rio Grande do Sul – Brasil, existem diversas pesquisas que comprovam a existência de fluoreto em águas subterrâneas em várias regiões, com ocorrência significativa desse elemento na cidade de Santa Maria e na região da Quarta Colônia. As pesquisas abordaram tanto o monitoramento deste elemento quanto a aplicação de tratamentos que possam remediá-lo (Somavilla, 2020; De Paula, 2021; Marchesan, 2023; Do Amaral, 2024).

3. DESFLUORETAÇÃO DA ÁGUA

A desfluoretação é uma alternativa viável para o controle do fluoreto em águas de abastecimento (Ahmad et al., 2025). O seu objetivo principal busca tornar a água pura, atendendo todos os critérios exigidos para utilização humana conforme legislações vigentes, incluindo a concentração de íons fluoreto no limite permitido. Esse método é aplicado principalmente quando medidas preventivas, como o acesso a fontes alternativas de água, são inviáveis ou representam um custo elevado para comunidades de poder econômico limitado (Ahmad et al., 2025; Dhillon, Prasad, Kumar, 2017).

Pode-se dividir as técnicas utilizadas para remoção de íons fluoreto da água em quatro categorias principais, sendo elas (Ahmad Dar, Kurella, 2023; Solanki et al., 2022; Vithanage, Bhattacharya, 2015):

- Coagulação/precipitação;
- Adsorção;
- Separação por membranas; e
- Técnicas eletroquímicas.

Em zonas rurais de países em desenvolvimento as principais técnicas utilizadas para a desfluoretação são a coagulação e a adsorção (Solanki et al., 2022). Ambas apresentam baixo custo e exigem pouca manutenção. A adição de um coagulante que promove a união de íons com cargas opostas constitui o princípio fundamental do processo de coagulação, dessa forma, as cargas são neutralizadas e ocorre a formação de flocos. No entanto, os sistemas que utilizam esse método têm como desvantagens os elevados custos de manutenção, a geração excessiva de lodo, o alumínio residual na água tratada e a necessidade de áreas maiores em comparação à outras técnicas (Solanki et al., 2022).

A adsorção é um processo descrito como a fixação de uma substância na superfície de outra por meio de interações físicas ou químicas. Utiliza-se esse mecanismo para separar de forma seletiva diversas impurezas presentes em soluções aquosas (Lacson, Lu, Huang, 2021). Uma das limitações associadas à técnica de adsorção refere-se à difícil regeneração do material adsorvente, uma vez que, após regenerado, a capacidade de remoção não é totalmente restaurada (Ahmad et al., 2025; Do Amaral, 2024).

No processo de separação por membranas a água com alta concentração de poluentes é forçada a atravessar uma membrana semipermeável. Os poluentes permanecem retidos no lado retentado, enquanto a água purificada é disponibilizada no lado permeado (Jadhav et al., 2015). As técnicas de membranas mais comuns para remoção de íons fluoreto são a osmose reversa, a nanofiltração e a eletrodiálise (Jadhav et al., 2015; Shaji et al., 2024; Singh et al., 2018). A separação por membranas garante produtos finais de ótima qualidade, uma vez que remove com eficácia os agentes patogênicos. Entretanto, elimina todos os íons da água, entre eles os minerais vitais para as funções metabólicas humanas,

sendo necessário realizar uma etapa adicional de remineralização. Também podem ocorrer incrustações nas membranas, exigindo procedimentos de limpeza ou regeneração, que são dispendiosos, além do elevado custo de aquisição do equipamento (Ahmad et al., 2025).

A eletrocoagulação (EC) é um método que permite a remoção, mediante eletrólise, de diferentes partículas dissolvidas indesejadas e de matéria em suspensão em soluções aquosas (Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011). Essa técnica se destaca da coagulação/floculação devido a substituição do uso de reagentes químicos pela geração *in situ* dos coagulantes. Isso ocorre após a oxidação eletrolítica do ânodo, desencadeada por uma corrente elétrica aplicada por meio de eletrodos, o que resulta em uma menor geração de lodo (Moussa et al., 2017; Hakizimana et al., 2017). A coagulação eletroquímica tem diversos benefícios quando comparada a coagulação química, como seu efeito tampão que evita o pH final ácido, sua capacidade de desinfecção, sua elevada eficiência na remoção de poluentes dissolvidos e a ausência de certos ânions (SO_4^{2-}, Cl^-) que normalmente são introduzidos durante o processo de coagulação química (Hakizimana et al., 2017).

Algumas das vantagens da EC incluem a formação de flocos que se separam mais rapidamente por filtração, a produção de efluentes com menor teor de sólidos dissolvidos totais, as partículas coloidais menores que apresentam maior facilidade de remoção, dentre outras (Emamjomeh, Sivakumar, Schafer, 2004). Todavia, a implementação da técnica de EC em comunidades ainda representa um desafio, principalmente em países em desenvolvimento, devido aos custos envolvidos e à limitada conscientização da população (Ahmad et al., 2025).

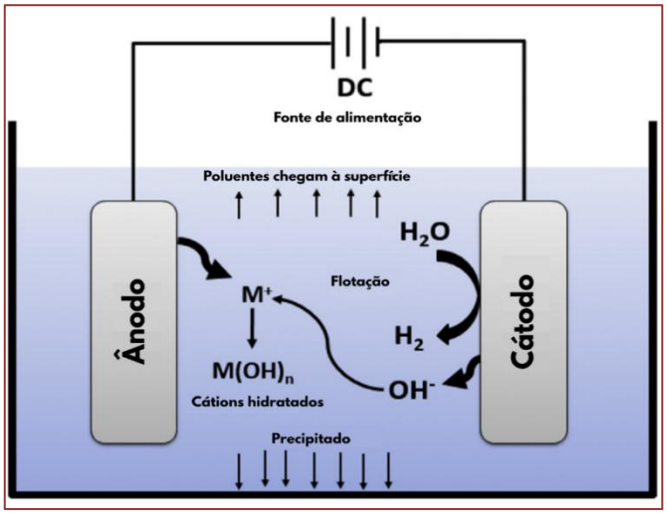
O processo de Eletrocoagulação-Flotação **(**ECF) consiste em uma técnica eletroquímica que combina a oxidação, a floculação e a flotação (Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011). O objetivo desse método concentra-se em substituir efetivamente a aplicação de sais pela dissolução de metais, desencadeada por reações de oxidação-redução que ocorrem em eletrodos de alumínio (Somavilla, 2020). Diversas pesquisas foram desenvolvidas aplicando a ECF para a desfluoretação obtendo ótimos resultados (Emamjomeh, Sivakumar, 2006; Emamjomeh, Sivakumar, 2009; Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011; Essadki et al., 2009; Hu et al., 2005; Hu et al., 2008; Somavilla, 2020; Takdastan et al., 2015). Emamjomeh, Sivakumar (2009) utilizando um sistema de ECF de fluxo contínuo encontraram eficiências máximas de desfluoretação de 99% aplicando uma densidade de corrente de 50 A/m^2, vazão de 150 mL/min e concentração inicial de fluoreto de 10 mg/L.

3.1. ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO

A técnica de ECF é considerada uma tecnologia emergente no tratamento de águas de abastecimento e residuárias, a qual combina as vantagens dos processos de coagulação, flotação e da eletroquímica (Moussa et al., 2017). Uma unidade fundamental de ECF, em geral, é composta por uma célula eletrolítica contendo um ânodo e um cátodo de eletrodos metálicos, conectados na parte externa a uma fonte de energia de corrente contínua e imersos na solução que será tratada (Moussa et al., 2017). Sucintamente, a corrente elétrica passa através dos eletrodos, provocando a eletrólise da água e formando bolhas de gás hidrogênio e oxigênio. As bolhas produzidas flutuam em direção à superfície da célula e, durante a ascensão, colidem em partículas suspensas na água, aderem a elas e as

arrastam até a superfície (Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011). A Figura 2 ilustra uma representação esquemática de uma unidade fundamental de ECF.

Figura 2 – Representação esquemática de uma unidade fundamental de ECF.



Fonte: Adaptado de Moussa et al. (2017).

A ECF possui fundamentos teóricos semelhantes aos dos processos convencionais de coagulação/floculação, uma vez que ambos buscam remover partículas presentes em águas residuárias por meio da desestabilização e neutralização das forças repulsivas que mantêm os colóides em suspensão na água. Após a neutralização de tais forças, as partículas suspensas tendem a se aglomerar, formando partículas maiores que podem sedimentar, facilitando a sua separação da água. Em contrapartida, uma das diferenças entre as técnicas são as reações secundárias que ocorrem simultaneamente em ambos os eletrodos da ECF (Moussa et al., 2017).

A composição do lodo gerado pelo processo de ECF é semelhante aos provenientes da coagulação química utilizando sais de alumínio, consequentemente a disposição dos lodos deve ser similar (Hakizimana et al., 2017). Um dos produtos químicos mais empregados no tratamento de água é o sulfato de alumínio, sendo o alumínio um elemento encontrado naturalmente na água potável (Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011).

Os eletrodos metálicos mais comumente empregados nos processos de ECF são os de alumínio e ferro, pois estão disponíveis em abundância, possuem baixo valor econômico, baixa toxicidade e são confiáveis e eficientes na remoção de poluentes. Essa eficácia está relacionada à elevada valência desses metais (Moussa et al., 2017; Hakizimana et al., 2017). O material do eletrodo influencia a eficácia da separação final e a tensão da célula, pois cada material apresenta um potencial de oxidação específico. Os eletrodos de alumínio, por exemplo, exigem um menor potencial de oxidação e sua eficiência de remoção pode ser elevada com o aumento da corrente (Ghosh, Solanki, Purkait, 2008).

Takdastan et al., (2015) relatam que, na ECF os eletrodos de alumínio apresentam menor consumo energético que os de ferro. Além disso, os eletrodos de alumínio são adequados para a remoção de fluoreto e quando comparados com os de ferro, são mais eficientes na remoção de diferentes substâncias (Battula et al., 2014; Takdastan et al., 2015; Sivaranjani

et al., 2021). Um fator importante que afeta a eficiência do processo de ECF é a conexão dos eletrodos, os quais podem ser utilizados na configuração monopolar ou bipolar, com ligações em série ou em paralelo (Hakizimana et al., 2017; Moussa et al., 2017).

Na configuração monopolar com ligação em paralelo todos os ânodos permanecem ligados entre si, assim como os cátodos (Garcia-Segura et al., 2017; Moussa et al., 2017). A corrente é dividida entre os eletrodos, refletindo em uma diferença de potencial menor do que a dos eletrodos ligados em série (Moussa et al., 2017). Os ânodos e cátodos são dispostos alternadamente e cada par de cátodo e ânodo funcionam como uma pequena célula eletrolítica onde a tensão é a mesma. Portanto, deve-se somar a corrente de cada célula eletrolítica para se obter a corrente total. Essa configuração permite alcançar uma alta relação entre eficiência e custo operacional, pois o consumo de energia é reduzido (Hakizimana et al., 2017).

Na configuração monopolar com ligação em série os dois eletrodos mais externos são ligados ao circuito externo formando o ânodo e o cátodo, enquanto cada par de eletrodos internos (chamados de eletrodos de sacrifício) são ligados entre si. Os eletrodos de sacrifício são utilizados para reduzir o consumo do ânodo e a passivação do cátodo (Moussa et al., 2017). A corrente elétrica aplicada em todos os eletrodos é igual, enquanto a tensão total é obtida somando a tensão em cada célula eletrolítica individual (Hakizimana et al., 2017).

Os eletrodos colocados no arranjo bipolar com ligação em série são formados por dois eletrodos externos que permanecem conectados a fonte de energia e os eletrodos de sacrifício, dispostos entre os dois eletrodos externos. Dessa forma, os eletrodos externos tornam-se monopolares e os internos bipolares. Cada um dos lados dos eletrodos bipolares é ativado como ânodo e cátodo simultaneamente, pois ambos não estão interligados (Hakizimana et al., 2017). Portanto, os eletrodos internos apresentam polaridade diferente em cada um dos lados, a qual varia conforme a carga do eletrodo à sua frente (Garcia-Segura et al., 2017).

Outra característica da técnica de ECF, é que a mesma pode ser aplicada como um processo descontínuo (reator em batelada) ou contínuo (reator de fluxo contínuo) (Hakizimana et al., 2017). No sistema em batelada, o coagulante é produzido incessantemente devido à dissolução do ânodo, tornando o processo dependente do tempo de operação. O material do ânodo sofre hidrólise e é produzido para capturar os poluentes, resultando em variações ao longo do tempo nas concentrações de poluentes, na quantidade de coagulante produzido e no pH. No reator em batelada, não há entrada nem saída de efluente durante a eletrólise (Lu et al., 2016).

Por sua vez, o sistema de fluxo contínuo atua sob condições de estado estável, recebendo uma constante concentração de poluentes e taxa de fluxo de efluentes. O reator de fluxo contínuo permite um controle mais preciso do processo, sendo o método mais recomendado (Naje et al., 2017). Quando comparado ao fluxo contínuo, o modelo de reator em batelada apresenta menor eficiência de remoção devido a mistura ineficiente e a distribuição desigual de flocos (Lu et al., 2016). As pesquisas de ECF, em sua maioria, são desenvolvidas em reatores descontínuos em pequena escala. Todavia, para viabilizar sua aplicação em escala industrial, o processo demanda a utilização de reatores de fluxo contínuo, o que torna atraente a investigação do desempenho de unidades que operam nesse regime (Moussa et al., 2017).

3.1.1. FATORES QUE INFLUENCIAM NA EFICIÊNCIA DA ECF

Para que um reator de ECF demonstre máxima eficiência de remoção deve-se produzir a dosagem adequada de coagulante, ou seja, a liberação de íons metálicos no ânodo e de hidróxido no cátodo deve ocorrer em quantidade suficiente para a formação do coagulante. A baixa geração de coagulante reduz a eficiência, enquanto a produção excessiva causa a desestabilização, resultando em desperdício de energia. Portanto, deve-se analisar a faixa de aplicação ótima de diversos parâmetros que afetam a eficiência de remoção em um sistema de ECF (Jafari et al., 2023).

Emamjomeh, Sivakumar (2009) ao estudarem a remoção de íons fluoreto por um reator de ECF de fluxo contínuo, analisaram os efeitos de diversos parâmetros na eficiência de remoção de fluoreto, dentre os quais pode-se citar a densidade de corrente, pH inicial e taxa de fluxo, que serão abordados a seguir:

i) Potencial Hidrogeniônico (pH): A desfluoretação apresenta melhor desempenho em pH final entre 6 e 8 (Emamjomeh, Sivakumar, 2009; Emamjomeh, Sivakumar, Varyani, 2011). Emamjomeh, Sivakumar, Schafer (2004) relatam que, em pH acima de 7, a remoção de fluoreto da água e de efluentes sofre influência da formação de flocos de hidróxido de alumínio. De acordo com Grich et al. (2019), o pH inicial é altamente determinante na remoção de íons fluoreto. Conforme Lu et al. (2016) o transporte e a quantidade de flocos gerados são influenciados pelo pH inicial, ainda afirmam que há uma otimização da produção de flocos em pH inicial levemente ácido, entre 5 e 6. Nessas condições, os efeitos de adsorção e complexação dos flocos tornam-se mais intensos, o que resulta em uma máxima taxa de utilização do alumínio gerado eletricamente. Battula et al. (2014) encontraram melhores eficiências de remoção de fluoreto em condições neutras, com pH igual a 7. Ainda observaram que, quando o pH inicial foi inferior a 7 houve um incremento no pH final. Segundo Elazzouzi, Haboubi, Elyoubi (2017) ao aplicar a ECF com eletrodos de alumínio, o pH final obtido será sempre superior ao pH inicial, devido principalmente à produção de quantidades significativas de OH^- resultantes da hidrólise da água no cátodo.

ii) Densidade de corrente: Outro parâmetro operacional crucial para a ECF é a intensidade de corrente *i*. A ECF é geralmente expressa como uma função da densidade de corrente *i*, sendo essa definida pela razão da corrente aplicada sobre a área de superfície ativa do eletrodo. A densidade de corrente pode ser diferente para cada eletrodo e a equação da continuidade rege a conservação da corrente entre o ânodo e o cátodo (Hakizimana et al., 2017). A eficiência do processo de ECF depende da densidade de corrente, pois este parâmetro influência a taxa de dosagem do coagulante, a taxa de produção de bolhas e o tamanho e crescimento dos flocos (Shahedi et al., 2020). A densidade de corrente é um dos meios principais que permite controlar a taxa de reação em reatores eletroquímicos (Elazzouzi, Haboubi, Elyoubi, 2017; Emamjomeh, Sivakumar, 2009). Valores mais elevados de densidade de corrente aumentam a taxa de produção de bolhas e a dissolução anódica do alumínio, o que reflete em uma maior produção de precipitado (Elazzouzi, Haboubi, Elyoubi, 2017). Além disso, aumentam os flocos de hidróxido metálico (Shahedi et al., 2020). Esses efeitos são positivos para a remoção de contaminantes, melhorando a eficiência do tratamento (Elazzouzi, Haboubi, Elyoubi, 2017; Shahedi et al., 2020). Conforme Hashim et al. (2017), a densidade de corrente aplicada é inversamente proporcional a concentração residual de fluoreto, ou seja, quanto maior a densidade de corrente, menor a concentração residual de fluoreto.

iii) Vazão: Assim como a densidade de corrente, a vazão de entrada no sistema de ECF contínuo é um parâmetro crucial que interfere no desempenho do processo de tratamento (Nawarkar, Salkar, 2019). Segundo Graepin (2020) a vazão do sistema afeta a agitação, podendo a sua intensidade resultar em efeitos positivos ou negativos para a formação dos flocos aerados. Maraschin, De Paula, Carissimi (2023) afirmam que, a eficiência dos sistemas de mistura hidráulica é dependente da vazão, podendo este parâmetro afetar de forma benéfica ou prejudicial os processos de coagulação/floculação. Emamjomeh, Sivakumar (2009) ao fixar a densidade de corrente e alterar os valores de vazão, observaram que com o aumento da vazão ocorreu um decréscimo na eficiência de remoção de fluoreto. Enquanto que, para um volume constante, o tempo de detenção é reduzido conforme a vazão é elevada. O conjunto de corrente e tempo de detenção estabelecem a carga elétrica que será liberada no sistema, responsável pela dissolução do alumínio.

4. CONCLUSÕES

Esta mini revisão abordou a ocorrência de íons fluoreto em águas subterrâneas, discutindo suas principais fontes naturais e antropogênicas, os efeitos adversos à saúde humana decorrentes da ingestão excessiva de fluoreto e os métodos mais utilizados para a desfluoretação da água**.** Além disso, foram apresentados os fundamentos teóricos da técnica de Eletrocoagulação-Flotação (ECF)**,** com ênfase nas características de seus reatores e nos parâmetros operacionais que influenciam a eficiência do processo de remoção de fluoretos. Os resultados desta análise evidenciam que a contaminação por fluoreto em águas subterrâneas constitui um problema ambiental e de saúde pública de grande relevância, sobretudo em regiões onde populações em situação de vulnerabilidade dependem dessas fontes para o consumo. Adicionalmente, a fundamentação teórica apresentada reforça o potencial da ECF como tecnologia promissora e sustentável para o tratamento de águas contaminadas por íons fluoretos, contribuindo de forma significativa para a mitigação dos riscos associados ao consumo de água com teores elevados desse íon**.**

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento fornecido pela FAPERGS - Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do RS

REFERÊNCIAS

[1] AHMAD DAR, Firdous; KURELLA, Swamy. Fluoride in drinking water: An in-depth analysis of its prevalence, health effects, advances in detection and treatment. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], 2023.

[2] AHMAD, Shaz *et al*. Fluoride contamination, health effects, and defluoridation techniques in groundwater-dependent developing countries. *In*: **Groundwater in developing countries:** Case Studies from MENA, Asia and West Africa, Springer Water, 2025. p. 1-45.

[3] AYOOB, S.; GUPTA, A. K. Fluoride in Drinking Water: A Review on the Status and Stress Effects. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 433–487, 2006.

[4] BATTULA, Sailaja Kumari *et al*. Effective Removal of Fluoride from Ground Water Using Electro-Coagulation. **Journal of Engineering Research and Applications**, v. 4, n. 2, p. 439-445, 2014.

[5] BELOTTI, Lorrayne; PAULINO, Camila de Moraes; FRAZÃO, Paulo. Municipality-level

characteristics associated with very good quality water fluoridation in Brazil in 2018. **Braz. Oral Res.**, v. 38, 2024.

[6] BRASIL [Política Nacional de Recursos Hídricos (1997)]. **Lei nº 9.433, de 1997**. Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em:< https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 3 abr. 2025.

[7] BRASIL-MS (Ministério da Saúde). **Portaria GM/MS nº 888, de 2021**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>. Acesso em: 3 abr. 2025.

[8] BRINDHA, Karthikeyan; ELANGO, Lakshmanan. Fluoride in groundwater: causes, implications and mitigation measures. *In*: MONROY, S. D. (Ed.). **Fluoride: properties, applications and environmental management**. New York: Nova Science Publishers, p. 111–136, 2011.

[9] CHOUBISA, Shanti Lal. The diagnosis and prevention of fluorosis in humans. **Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences**, v. 3, p. 264-267, 2022.

[10] DE PAULA, Nátalie. **Alumina ativada modificada por ozonização: preparação, caracterização e aplicação na remoção de íons fluoreto presentes em água subterrânea.** 2021. [s. l.], 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/23383>. Acesso em: 24 jun. 2025.

[11] DHILLON, Ankita; PRASAD, Surendra; KUMAR, Dinesh. Recent advances and spectroscopic perspectives in fluoride removal. **Applied Spectroscopy Reviews**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 175–230, 2017.

[12] DO AMARAL, João Gabriel Munareto. **Mapeamento da fragilidade ambiental de íons fluoreto na macrorregião Verdes Campos/RS**. 2024. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2024.

[13] EDMUNDS, Mike; SMEDLEY, Pauline. Fluoride in Natural Waters. *In*: **Essentials of Medical Geology:** Impacts of the natural. Elsevier, ed. 2, 2013. p. 311–336.

[14] ELAZZOUZI, Mohamed; HABOUBI, Khadija; ELYOUBI, Mohamed Salahdine. Electrocoagulation flocculation as a low-cost process for pollutants removal from urban wastewater. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 117, ed. 2, p. 614-626, 2017.

[15] EMAMJOMEH, Mohammad M.; SIVAKUMAR, Muttucumaru. An empirical model for defluoridation by batch monopolar electrocoagulation/flotation (ECF) process. **Journal of Hazardous Materials**, v. B131, p. 118–125, 2006.

[16] EMAMJOMEH, Mohammad M.; SIVAKUMAR, Muttucumaru. Fluoride removal by a continuous flow electrocoagulation reactor. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 1204-1212, 2009.

[17] EMAMJOMEH, Mohammad M.; SIVAKUMAR, Muttucumaru; VARYANI, Ali Safari. Analysis and the understanding of fluoride removal mechanisms by an electrocoagulation/flotation (ECF) process. **Desalination**, v. 275, p. 102-106, 2011.

[18] EMAMJOMEH, Mohammad; SIVAKUMAR, Muttucumaru; SCHAFER, Andrea. Fluoride removal by using a batch electrocoagulation reactor. **Environmental Sustainability through Multidisciplinary Integration,** v. 1, p. 143-152, 2004.

[19] ESSADKI, Abdel Hafid *et al*. Defluoridation of drinking water by electrocoagulation/electroflotation in a stirred tank reactor with a comparative performance to an external-loop airlift reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, p. 1325-1333, 2009.

[20] ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL-SES (Secretaria de Estado da Saúde). **Portaria nº 10, de 1999**. Porto Alegre, RS, 1999. Disponível em:< https://saude.rs.gov.br/upload/arquivos/202303/21163658-portaria-10-1999.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2025.

[21] ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL-SS (Secretaria da Saúde). **Portaria SES nº 415, de 2023**. Porto Alegre, RS, 2023. Disponível em:< https://cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/202304/13161805-portaria-ses-415-2023.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2025.

[22] FUGE, Ron. Fluorine in the environment, a review of its sources and geochemistry. **Applied Geochemistry**, v. 100, p. 393-406, 2019.

[23] FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Manual da fluoretação da água para consumo humano**. 1. Ed. Brasília, DF: 2012. Disponível em:<https://www.funasa.gov.br/site/wp-

content/files_mf/mnl_fluoretacao_2.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

[24] GARCIA-SEGURA, Sergi *et al*. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 801, p. 267-299, 2017.

[25] GHOSH, Debashis; SOLANKI, Harshit; PURKAIT, Mihir Kumar. Removal of Fe(II) from tap water by electrocoagulation technique. **Journal of Hazardous Materials**, v. 155, p. 135–143, 2008. Disponível em:< https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407016688#:~:text=Electroco>. Acesso em: 2 mai. 2025.

[26] GOVERNMENT OF IRELAND. **Forum on fluoridation**. Dublin: Stationery Office, 2002.

[27] GRAEPIN, Cristiane. **Sistema de eletrocoagulação-flotação: uma unidade de tratamento de água inovadora para demandas eventuais e remotas do saneamento básico**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.

[28] GRICH, Naila Ben *et al.* Fluoride removal from water by electrocoagulation: Effect of the type of water and the experimental parameters. **Electrochimica Acta**, v. 316, p. 257-265, 2019.

[29] HAKIZIMANA, Jean Nepo *et al*. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. **Desalination**, v. 404, p. 1-21, 2017.

[30] HASHIM, Khalid S. *et al*. Defluoridation of drinking water using a new flow column electrocoagulation reactor (FCER) – Experimental, statistical, and economic approach. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 80-88, 2017.

[31] HOSSEIN, Miraji *et al.* Fluoride contamination a silente global water crisis: A case of Africa. **Scientific African**, v. 26, 2024.

[32] HU, Ching-Yao *et al.* Removal of fluoride from semiconductor wastewater by electrocoagulation-flotation. **Water Research**, v. 39, p. 895-901, 2005.

[33] HU, Ching-Yao *et al.* Treatment of high fluoride-content wastewater by continuous electrocoagulation-flotation system with bipolar aluminum electrodes. **Separation and Purification Technology**, v. 60, p. 1-5, 2008.

[34] IJUMULANA, Julian *et al*. Spatial analysis and GIS mapping of regional hotspots and potential health risk of fluoride concentrations in groundwater of northern Tanzania. **Science of the Total Environment**, v. 732, 2017.

[35] JADHAV, Sachin V. *et al.* Arsenic and fluoride contaminated groundwaters: A review of current technologies for contaminants removal. **Journal of Environmental Management**, v. 162, p. 306-325, 2015.

[36] JAFARI, Ehsan *et al*. Impact of operating parameters of electrocoagulation-flotation on the removal of turbidity from synthetic wastewater using aluminium electrodes. **Minerals Engineering**, v. 193, 2023.

[37] KIMAMBO, Vivian *et al*. Fluoride occurrence in groundwater systems at global scale and status of defluoridation – State of the art. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 9, 2019.

[38] LACSON, Carl Francis Z.; LU, Ming Chun; HUANG, Yao-Hui. Fluoride-containing water: A global perspective and a pursuit to sustainable water defluoridation management - An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, 2021.

[39] LINHARES, Diana *et al*. Fluoride levels in water sources inside the crater of Furnas volcano: Potential health implications for local communities and tourists. **Science of the Total Environment**, v. 982, 2025.

[40] LU, Jun *et al.* A study on continuous and batch electrocoagulation process for fluoride removal. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 58, p. 28417-28425, 2016.

[41] MARASCHIN, Manoel; DE PAULA, Nátalie; CARISSIMI, Elvis. An efficient separation for fluoride-ions from water supplies by ion precipitate flotation: Pilot scale study with generation of coagulative bubbles. **Journal of Water Process Engineering**, v. 56, 2023.

[42] MARCHESAN, Luciane; PIESZAK, Cicera de Alencar; CRUZ, Rafael Cabral. Mapeamento da fragilidade ambiental de íons fluoreto no município de Dona Francisca/RS. *In*: CONGRESSO

INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 7., 2023, Bento Gonçalves/RS. Disponível em:< https://siambiental.ucs.br/congresso/anais/verArtigo?id=523&ano=>. Acesso em: 1 jul. 2025.

[43] MARTINS, Veridiana T. de S. *et al*. Who to blame for groundwater fluoride anomaly in São Paulo, Brazil? Hydrogeochemistry and isotopic evidence. **Applied Geochemistry**, v. 90, p. 25-38, 2018.

[44] MCMAHON, Peter B. *et al*. Fluoride occurrence in United States groundwater. **Science of the Total Environment**, v. 732, 2020.

[45] MOUSSA, Dina T. *et al*. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 186, p. 24-41, 2017.

[46] NAJE, Ahmed Samir *et al*. A review of electrocoagulation technology for the treatment of textile wastewater. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 33, n. 3, 2017.

[47] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Fluoride in drinking water: a scientific review of EPA's standards**. Washington, DC: The National Academies Press, 2006. Disponível em:< https://doi.org/10.17226/11571>. Acesso em: 20 mar. 2025.

[48] NAWARKAR, C. J.; SALKAR, Vitthal D. Solar powered Electrocoagulation system for municipal wastewater. **Fuel**, v. 237, p. 222-226, 2019.

[49] PANT, Rakesh *et al.* Treatment of Fluoride-Contaminated Water: A review. *In*: **Fluorides in Drinking Water**. Environmental Science and Engineering. Springer, 2025. p. 349-370.

[50] PODGORSKI, Joel; BERG, Michael. Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. **Nature communications**, v. 13, 2022.

[51] ROSSI, Thais Regis Aranha; MOREIRA, Luiz Gaudencio Passos; DE BARROS, Sandra Garrido. Decurso histórico das políticas de fluoretação como estratégia de enfrentamento à cárie dentária no Poder Legislativo brasileiro, de 1963 a 2019. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, 2020.

[52] SAHU, Paulami. Fluoride pollution in groundwater. *In*: **Groundwater Development and Management**. New Delhi: Capital Publishing Company, 2019. p. 329-350.

[53] SHAHEDI, Ahmad *et al*. A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes. **Current Opinion in Electrochemistry**, v. 22, p. 154–169, 2020.

[54] SHAJI E. *et al*. Fluoride contamination in groundwater: A global review of the status, processes, challenges, and remedial measures. **Geoscience Frontiers**, v. 15, 2024.

[55] SINGH, Gayatri *et al*. Fluoride distribution and contamination in the water, soil and plants continuum and its remedial technologies, an Indian perspectivee a review. **Environmental Pollution**, v. 239, p. 95-108, 2018.

[56] SIVARANJANI *et al*. Applicability and new trends of different electrode materials and its combinations in electro coagulation process: A brief review. **Materials Today:** Proceedings, v. 37, p. 377-382, 2021.

[57] SOLANKI, Yogendra Singh *et al*. Fluoride occurrences, health problems, detection, and remediation methods for drinking water: A comprehensive review. **Science of the Total Environment**, v. 807, 2022.

[58] SOMAVILLA, Ezequiel Andrei. **Íons fluoreto em águas subterrâneas:** Monitoramento e remoção por eletrocoagulação-flotação e adsorção com resíduos de tabaco. 2020. 205 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Univerdade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.

[59] SRIVASTAVA, Sakshi; FLORA, S. J. S. Fluoride in Drinking Water and Skeletal Fluorosis: a Review of the Global Impact. **Current Environmental Health Reports**, v. 7, p. 140-146, 2020.

[60] TAKDASTAN, A. *et al*. The effect of the electrode in fluoride removal from drinking water by electro coagulation process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMICAL, ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL SCIENCES (CEBS-2015), 2015, Dubai (UAE). p. 39-44.

[61] VITHANAGE, Meththika; BHATTACHARYA, Prosun. Fluoride in drinking water: Health effects and remediation. *In:* **COE Sequestration, Biofuels and Depollution**, Springer International Publishing, 2015. p. 105-151.

[62] WANG, Yanxin *et al*. Genesis of geogenic contaminated groundwater: As, F and I. **Critical Reviews**

in Environmental Science and Technology, v. 51, n. 24, 2021.

[63] WHO (World Health Organization). **Guidelines for Drinking-water Quality**. ed. 4, Geneva: World Health Organization, 2011. em:< http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

Capítulo 7

O potencial campo de trabalho para o profissional biólogo como consultor ou gestor na área ESG

Denny William da Silva

Resumo: O conceito ESG (Environmental, Social and Governance) definido como responsabilidade ambiental, social e de sustentabilidade empresarial parte da premissa de que entidades, públicas e privadas, têm compromissos para com a sociedade que vão além do cumprimento de suas obrigações legais. É apresentada uma análise sobre o potencial campo de trabalho para o profissional biólogo como consultor ou perito na área de ESG, com base em evidências acadêmicas e de mercado. A pesquisa revela um campo em expansão, com oportunidades crescentes para biólogos, especialmente nas áreas de biodiversidade, capital natural, gestão de riscos climáticos e bioeconomia. No entanto, persistem lacunas na formação tradicional dos biólogos, que precisam ser complementadas com conhecimentos interdisciplinares. Buscou-se identificar tendências emergentes, desafios específicos e recomendações para o desenvolvimento profissional de biólogos interessados em atuar no campo profissional ESG.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A natureza da atividade das instituições financeiras, como bancos e seguradoras as expõem a riscos que podem se traduzir em prejuízos com o potencial significativo de comprometer sua saúde financeira e causar impactos socioambientais.

Existem diversas classificações de risco na literatura. Porém, cada instituição financeira faz sua própria classificação de acordo com seu porte e nicho de mercado ou, ainda, em função da melhor forma de gerenciar os riscos. O risco está presente em qualquer operação do mercado financeiro. Risco é um conceito "multidimensional" que cobre quatro grandes grupos de risco: risco de mercado, risco legal, risco de crédito e risco operacional. Assim, os problemas ambientais são abordados como mais uma modalidade de risco presente nesses quatro grupos de risco (TOSINI, 2006).

Os conceitos de responsabilidade social e de sustentabilidade empresarial partem da premissa de que entidades, públicas ou privadas, têm compromissos com a sociedade que vão além do cumprimento de suas obrigações legais (B3 S.A. 2022).

A sigla ESG (Environmental, Social and Governance) se refere a três critérios fundamentais utilizados em investimentos e que se propõe a mensurar a sustentabilidade e os impactos sociais e ambientais de uma empresa (FISH; KIM; VENKATRAMAN, 2019). Segundo esses mesmos autores, em relação aos critérios ambientais, investidores avaliam as externalidades geradas pela companhia no meio ambiente, os riscos atrelados a esses impactos e como a companhia pode gerenciar esses riscos. Entretanto, cabe frisar que ESG não é apenas sustentabilidade ambiental, fundamentalmente é a gestão de risco do negócio, porém métricas ambientais fazem parte desse processo, dado que impactam o valor de mercado da empresa.

Em 2006, através de uma iniciativa da ONU, foram criados os PRI - Princípios de Investimentos Responsáveis (PRI, 2021), cujo objetivo é atuar em conjunto em uma rede internacional de signatários para colocar em prática seus seis Princípios para o Investimento Responsável. O objetivo dos Princípios é compreender as implicações dos investimentos sobre temas ambientais, sociais e de governança, além de oferecer suporte para os signatários na integração desses temas com suas decisões de investimento e propriedade de ativos. Nesse contexto, entre 2006 e 2021, o número de fundos de investimentos signatários cresceu de 63 para 3826, saindo de US$ 6,5 trilhões de capital sob gestão para US$ 121,3 trilhões (PRI, 2021).

Na Bolsa de Valores Brasileira (B3 S.A. – Brasil, Bolsa, Balcão) foi divulgada, em 2022, carteiras de seus principais índices ESG e que reúne 46 companhias pertencentes a 27 setores da economia (B3 S.A., 2022). Segundo a B3, juntas, essas companhias somam R$ 1,74 trilhão em valor de mercado ou 38,26% do valor de mercado das companhias negociadas nessa bolsa (B3 S.A., 2022).

Em outubro de 2002, o IFC – International Finance Corporation - e o banco holandês ABN Amro promoveram em Londres um encontro de altos executivos para discutir experiências com investimentos em projetos envolvendo questões socioambientais nos mercados emergentes (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2024). Foi então, acertada na reunião a necessidade de considerar relativo nivelamento entre os bancos sobre as análises de risco envolvendo questões ambientais e sociais em investimentos de grande porte nos países emergentes. Desse encontro resultou em 2003 os chamados Princípios do Equador, que são um conjunto de exigências socioambientais aplicadas na

concessão de financiamento de grandes projetos, amparadas por cláusulas financeiras que limitam a sua aplicação à um montante financeiro mínimo (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2024). No Brasil, são signatários dos Princípios do Equador o Banco do Brasil, Bradesco, Santander e Itaú, que são as principais instituições financeiras do país (DIAS & MACHADO, 2014).

No início dos anos 2000, algumas iniciativas em bolsas de valores começaram a publicar índices de sustentabilidade no mercado de capitais. O primeiro – e mais conhecido – foi o Dow Jones Sustainability Indexes (DJSI), uma família de índices com carteiras de empresas abertas construídas a partir de critérios ESG (MONZONI & CARREIRA, 2022).

Nesse processo, a Bolsa de Valores brasileira adotou o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), que é um ranking que analisa a performance de empresas listadas na perspectiva da sustentabilidade corporativa. De acordo com a B3 S.A. (2024), o ISE é uma ferramenta de análise comparativa da performance das empresas listadas na bolsa sob o aspecto da sustentabilidade corporativa, baseando-se em eficiência econômica, equilíbrio ambiental, justiça social e governança corporativa. Monzoni *et. al.* (2006) discutiram os desafios de criação de uma nova ferramenta para o mercado de ações brasileiro a fim de detectar a capacidade de geração de valor das empresas e o nível de risco associado ao seu desempenho em diferentes dimensões da sustentabilidade.

No âmbito da ONU, a partir de 2006, algumas iniciativas foram sendo lançadas com vistas a encorajar as instituições financeiras e de seguros a incorporarem a lente de ESG em suas análises de riscos e oportunidades, crédito e investimento. Princípios para o Investimento Responsável (PRI) foi o primeiro deles e se endereçava a investidores institucionais (MONZONI & CARREIRA, 2022).

Nessa linha, a Superintendência de Seguros Privados (SUSEP), que é uma autarquia que fiscaliza e regulariza as empresas de seguro, de previdência privada aberta, capitalização e resseguros, criada pelo Decreto-Lei nº 73/1966, expede circular nº 666/2022, (SUSEP, 2022a). Essa norma orienta que as empresas supervisionadas implementem: gestão dos riscos de sustentabilidade (ambientais, sociais e climáticos); política de sustentabilidade; e relatório de sustentabilidade. A gestão dos riscos de sustentabilidade deve ser integrada à Estrutura de Gestão de Riscos e aos processos operacionais, em especial no que se refere à precificação e subscrição de riscos, seleção de investimentos e seleção de prestadores de serviços, podendo estabelecer limites para concentração de riscos e/ou restrições para a realização de negócios (SUSEP, 2022b). Essas normas, de adoção obrigatória, têm por objetivo promover resiliência do mercado segurador através de uma melhor gestão de riscos que possam afetar a sustentabilidade das empresas.

O valor da empresa é uma relação entre a expectativa de geração de caixa da empresa e o risco. As empresas com melhores práticas ESG resultam em menor risco sistemático (GIESE *et. al.* 2019). Dessa forma, as instituições financeiras têm sido pressionadas a incorporar maior rigor acerca de sua gestão de risco que envolva potenciais impactos ambientais, sociais e de governança.

Esse trabalho consistiu em uma pesquisa qualitativa, de caráter descritivo e exploratório com o objetivo de aprofundamento de uma realidade em curso. Para tanto, foram descritos instrumentos de iniciativa empresarial acerca do processo de implantação das métricas ESG no Brasil em que pese a possibilidade de atuação do biólogosegundo suas atribuições profissionais. Como fontes, foram tomadas publicações do Banco Central do Brasil, SUSEP, Bolsa de Valores e do setor bancário. Além disso, foi realizada uma exploração do tema em portais de teses e dissertações, jornais, revistas e artigos.

1.2. PROBLEMA

Esse contexto, por outro lado, leva à reflexão acerca do necessário preparo que nossos estudantes, em especial os estudantes dos Cursos de Ciências Biológicas, devem minimamente ter para adentrar nesse mercado de trabalho. Outro aspecto a ser pensado diz respeito à constatada evasão discente na educação superior. O Instituto Semesp, entidade que representa as faculdades privadas, publicou o Mapa do Ensino Superior (SEMESP, 2023) que levanta dados de evasão das faculdades privadas e traz algumas comparações com as universidades públicas. Os dados mostram que a desistência nas instituições privadas chega a 59%, mas que nas instituições públicas ele também é elevado, representando 40,3%. A conjuntura socioeconômica que leva a isso é ampla e complexa, mas um aspecto levantado no estudo - que não deve ser pensado de forma isolada – é que por vezes o curso superior possa ter pouca aderência à expectativa dos jovens, especialmente em novos campos e demandas de atuação profissional. Nesse sentido, essa análise pode contribuir para gerar mais contato dos jovens com o mundo do trabalho.

1.3. OBJETIVOS

1. Realizar levantamento e análise do potencial campo de trabalho como consultor na área de ESG dentro da área de atribuição do profissional biólogo;
2. Identificar as habilidades necessárias para preparar o atual estudante e futuro profissional Biólogo para atuar em gestão de risco ambiental na oferta de crédito por parte do sistema financeiro no contexto do curso de Ciências Biológicas da Unicentro;
3. Identificar as principais atividades econômicas que têm demandado a realização de consultorias em ESG;
4. Discutir o papel do Banco Central Brasileiro, da Susep, da Bolsa de Valores Brasileira e do sistema financeiro nas políticas e regulação da concessão de crédito visando a promoção da sustentabilidade.

2. DISCUSSÃO

2.1. O PAPEL DO SISTEMA FINANCEIRO

Segundo Tosini (2005), risco ambiental pode ser definido como a medida de possíveis danos que uma atividade econômica pode causar ao meio ambiente. A relação entre risco ambiental e os demais riscos enfrentados pelas empresas está fundamentada no ‘’Princípio do Poluidor Pagador” (MACHADO, 2018). Por esse princípio se busca internalizar os custos da degradação ambiental no processo produtivo de qualquer atividade econômica, a fim de evitar que apenas os lucros de uma atividade sejam privatizados e os custos do dano ambiental sejam socializados. Desta forma, risco ambiental passa a ser traduzido como custo financeiro (TOSINI, 2006).

O termo “poluidor”, posto no art. 3o, inciso IV, da Lei 6.938/81, define: “poluidor: a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente por atividade causadora de degradação ambiental.” Além do poluidor direto, criou-se a figura do poluidor indireto. Esse é aquele que se beneficia da atividade poluente, consumindo o produto que é proveniente de uma atividade considerada poluente, ou quem cria os

elementos necessários para que a poluição ocorra, permitindo que o bem a ser consumido seja poluente (SILVA, 2017). Em decorrência entende-se responsabilidade solidária de todos que de algum modo participaram direta ou indiretamente, faz com que um banco também venha a responder solidariamente pelo dano ambiental (AIDAR; BUZANELLI, 2016).

Acerca da responsabilidade solidária destaca-se que são coobrigados solidários todos que concorreram para a degradação ambiental independente e na medida da sua culpabilidade (MIRANDA; REGINATO, 2022). Exemplo dessa interpretação foi a confirmação da multa aplicada ao Banco Santander no valor de R$ 47,5 milhões que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) aplicou a essa instituição financeira, por conceder crédito rural para o plantio de grãos em áreas com embargos ambientais do bioma amazônico em Mato Grosso. Foi a primeira vez em sua história que o Ibama autuou um banco (BRASIL, 2024a).

Identificada a responsabilidade solidária, responderiam os responsáveis diretos e os indiretos em litisconsórcio facultativo, o que significa que autor, por exemplo o Ministério Público, pode acionar somente a entidade financeira, se assim desejar, e não o causador direto do dano (AIDAR; BUZANELLI, 2016). Ainda segundo esses autores, diante do entendimento legal de ser solidária a responsabilidade das instituições financeiras nos danos ambientais causados por empresas por eles financiadas, os bancos se tornaram corresponsáveis dos danos, fazendo com que estes analisem mais detidamente um pedido de financiamento. Diante de uma eventual responsabilização civil, criminal e/ou administrativa a instituição financeira tem o direito de ajuizar uma ação regressiva em desfavor do autor direto com o objetivo de discutir a responsabilização, obrigação e ressarcimento, como disposto nos artigos 259 e 260 do Código Civil (AIDAR; BUZANELLI, 2016).

Dessa forma, de todo modo, ocorrerá dispêndio financeiro por parte do infrator. Tosini (2006) explica ainda que, por outro lado, os danos ambientais até então identificados evidenciam que o risco ambiental tem impacto sobre as três modalidades de risco enfrentadas pelas empresas, seja qual for sua atividade econômica - risco de negócio, risco financeiro e risco estratégico.

De acordo com Tosini (2006), tendo em vista que o desempenho econômico das empresas depende direta ou indiretamente do gerenciamento desses riscos, depreende-se daí que, para obter um bom desempenho econômico, a empresa precisa, também, de um bom sistema de gerenciamento ambiental. Seguindo nessa linha, os bancos, ao serem parceiros financeiros das empresas, dependem do retorno financeiro destas. Assim, segundo aquele autor, o risco ambiental das empresas afeta indiretamente o desempenho econômico das instituições financeiras, na medida em que esse risco pode vir a comprometer o valor dos ativos financeiros das empresas, sua capacidade de honrar seus empréstimos, bem como sua própria reputação junto à sociedade.

Tosini (2006), os bancos, com relação às questões ambientais, estão expostos a três tipos de riscos, os diretos, indiretos e os reputacionais. De acordo com esses autores, os riscos diretos para as instituições financeiras são aqueles intrínsecos às suas próprias operações e infraestruturas. Embora frequentemente subestimados em comparação com os riscos de crédito, eles englobam a gestão de resíduos sólidos e efluentes, o consumo de recursos hídricos e energéticos, e as emissões de gases de efeito estufa decorrentes das atividades administrativas e operacionais dos bancos. A implementação de programas de educação ambiental corporativa, por exemplo, com foco na gestão de resíduos eletroeletrônicos, é

uma medida proativa adotada por instituições financeiras para mitigar riscos operacionais e preservar a imagem institucional (VARELA; HELLU, 2017).

Os riscos indiretos emergem da exposição dos bancos às atividades de seus clientes e parceiros de negócios (BRASILb, 2024). O risco de crédito é a manifestação mais saliente dessa categoria. Guimarães (2015) elucida que o risco ambiental se materializa como risco de crédito quando as operações de financiamento estão suscetíveis a perdas decorrentes de impactos ambientais adversos gerados por um tomador de crédito. Ainda segundo esse autor, tais perdas podem advir da deterioração da capacidade de pagamento do cliente, afetando sua lucratividade, fluxo de caixa, valor das garantias ou sua própria reputação, comprometendo assim a capacidade de honrar os compromissos financeiros. O Banco Central do Brasil (BRASIL, 2021) tem desempenhado um papel regulatório ativo na mitigação desses riscos. A Resolução BACEN nº 4.327/2014 estabelece diretrizes mandatórias para a Política de Responsabilidade Socioambiental (PRSA) das instituições financeiras, exigindo uma estrutura de governança e gestão de riscos e oportunidades. Adicionalmente, a Brasil, Bolsa e Balcão-B3 (B3, 2025) tem exigências, através do Índice de Sustentabilidade, para fatores socioambientais na análise de risco de crédito, conforme evidenciado por estudos que analisam o comportamento de empresas listadas em bolsa.

A Febraban (2025a) e o Banco Central do Brasil (2024) reconhecem a centralidade da gestão da reputação neste contexto. A Política de Sustentabilidade da Febraban, por exemplo, visa promover as melhores práticas e diretrizes socioambientais para salvaguardar a imagem do setor e evitar a associação com atividades ambientalmente danosas O Banco Central (BRASIL, 2024), em seus relatórios periódicos sobre riscos e oportunidades sociais, ambientais e climáticas, reitera a atenção aos impactos desses riscos nas variáveis econômicas e financeiras, incluindo a dimensão reputacional.

Para Guimarães (2015), as instituições financeiras deveriam ser consideradas como qualquer outro agente econômico sujeito à legislação ambiental, de modo que o cumprimento regulamentar resultasse na incorporação de critérios socioambientais às práticas e operações bancárias. Para esse autor, em um cenário de maior sensibilidade do setor financeiro quanto aos objetivos das políticas ambientais, seria possível elencar três papéis principais de uma "IF com compromisso ambiental". A primeira delas diz respeito ao controle de prejuízos ambientais e pressupõe a adoção de critérios e políticas institucionais para a avaliação de impactos ambientais em todas as operações de crédito da instituição. A instituição não deve financiar projetos de atividades com impactos negativos sobre o meio ambiente ou precisa exigir medidas para minimizar os danos a níveis aceitáveis, como condições para o financiamento (GUIMARÃES, 2015).

A segunda função está ligada às novas oportunidades de negócios para as instituições financeiras e diz respeito à recuperação do meio ambiente. A instituição financeira deve priorizar o financiamento de projetos para recuperação de danos ao meio ambiente, o que significa o surgimento de novas linhas de crédito e produtos bancários para financiamento dos investimentos e operações correspondentes (GUIMARÃES, 2015).

A terceira função seria a promoção de "projetos verdes", caracterizados por não apenas evitar ou controlar os danos ambientais, mas também por contribuir de maneira positiva para o desenvolvimento sustentável. O desempenho dessa função pode se dar, por exemplo, por meio do fomento ao uso de tecnologias de produção limpa, de eficiência energética, de combate à desertificação, de captação de carbono, de produção orgânica, dentre outros (GUIMARÃES, 2015).

Segundo o normativo de criação e implementação de política de responsabilidade socioambiental, SARB 014/2014, da Febraban (2025b), seu artigo 7º informa que: Art. 7º No tocante a operações financeiras, para identificação daquelas sujeitas à análise de aspectos socioambientais, a signatária deve adotar método que considere sua capacidade de identificar previamente a finalidade da utilização dos recursos pelo tomador e observar aquelas que, por exigência legal, requeiram análise de aspectos socioambientais.

Face o princípio da responsabilidade solidária (MACHADO, 2018) pode-se denotar o elo entre o setor financeiro e o meio ambiente, no qual as instituições financeiras estão expostas a riscos financeiros de terceiros. Isso se materializa, por exemplo, quando uma empresa descobre que é proprietária de um terreno contaminado ou quando sanções por impactos ambientais negativos comprometem a capacidade do credor de liquidar suas operações de crédito (ANDREAS, 2008). Além dos riscos financeiros, os bancos já começaram a explorar as oportunidades de negócios na relação das empresas com o meio ambiente. Ao redor de todo o planeta, têm crescido os produtos financeiros sustentáveis, como fundos de investimentos responsáveis, linhas de crédito verdes e outras inovações financeiras demandadas por um setor produtivo que tem a sua relação com o meio ambiente questionada e avaliada com um rigor cada vez maior (GUIMARÃES, 2015).

2.2. O MERCADO FINANCEIRO E A SUSTENTABILIDADE ATRAVÉS DO ÍNDICE ISE B3

A B3 S.A. – Brasil, Bolsa, Balcão, como parte da infraestrutura de mercado financeiro do país, adota índices que buscam desempenhar um papel na indução de práticas de sustentabilidade corporativa (TABELA1). Uma de suas iniciativas nesse sentido é o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE B3). Criado em 2005, o ISE B3 foi o quarto índice dessa natureza a surgir no mundo, conforme destacado por Monzoni, Biderman e Brito (2022) e tem como objetivo ser um indicador do desempenho médio das cotações dos ativos de empresas listadas que demonstram comprometimento com a sustentabilidade empresarial.

Segundo a B3 (2024) a metodologia do ISE B3 envolve a análise de diversas dimensões da sustentabilidade corporativa, incluindo aspectos ambientais (como gestão de emissões, uso de recursos naturais, ecoinovação), sociais (como relações com colaboradores, comunidades e fornecedores, direitos humanos) e de governança (como transparência, ética, práticas anticorrupção e estrutura de conselho. A B3 também disponibiliza a plataforma "B3 ESG Workspace" (B3, 2025), que oferece dados e scores relacionados ao ISE, auxiliando na formulação de estratégias ESG pelas empresas e investidores.

Segundo Monteiro, et. al. (2020) há uma relação direta entre a adesão das organizações no escopo do ISE e a obtenção de melhor desempenho dos ativos dessas empresas. Concluiu esse autor que esse índice se torna um diferencial de imagem perante o mercado e que é um indicador capaz de influenciar a decisão dos investidores, notadamente os Fundos de Pensão estrangeiros, levando essas empresas a uma melhor performance econômico-financeira. Entretanto, segundo Minardi (2023) essa visão não representa um consenso no mercado acerca do poder do investimento sustentável na promoção de sustentabilidade e prosperidade. Alegam que, embora a lógica do investimento responsável em ESG pareça adequada para direcionar o mundo para a Agenda 2030, a transição verde é complexa, requer visão sistêmica e tanto investidores como corporações são apenas algumas das peças da engrenagem para implementar essa mudança.

TABELA 1. Mecanismos regulatórios com foco em sustentabilidade adotados pela Bolsa de Valores Brasileira

Índice	Objetivo
ISE B3 (Índice de Sustentabilidade Empresarial)	Criado em 2005, avalia empresas com as melhores práticas ESG
ICO2 B3 (Índice Carbono Eficiente)	Foca em empresas que monitoram suas emissões de gases de efeito estufa. Avalia a exposição da receita frente ao volume de emissões.
S&P/B3 Brasil ESG	Lançado em parceria com a S&P em 2020. Seleciona empresas com base em critérios ESG globais.
IDIVERSA B3	Criado em 2023, destaca empresas com diversidade de gênero e raça em cargos de liderança. Utiliza um "Score de Diversidade" com base em dados públicos.

2.3. O BANCO CENTRAL DO BRASIL E A AGENDA DE SUSTENTABILIDADE FINANCEIRA

O Banco Central do Brasil (BCB) tem buscado promover uma agenda de sustentabilidade dentro do Sistema Financeiro Nacional (SFN). Reconhecendo os riscos e oportunidades que as questões socioambientais e climáticas representam para a estabilidade financeira e para a economia como um todo, o BCB vem estabelecendo nos últimos anos uma série de diretrizes e normativas que visam integrar esses aspectos nas operações das instituições financeiras sob sua supervisão (TABELA 2) (BCB, 2021a).

Um marco importante nessa direção foi a instituição da Política de Responsabilidade Social, Ambiental e Climática do Banco Central do Brasil (PRSAC-BCB) atualizada recentemente (BCB, 2024). Essa política não apenas rege as ações internas do próprio BCB em relação à sustentabilidade, mas também estabelece diretrizes para a atuação das instituições do SFN. A PRSAC-BCB enfatiza a necessidade de as instituições financeiras incorporarem os riscos sociais, ambientais e climáticos em suas políticas de gestão de riscos, incluindo a análise de crédito. Isso significa que, ao conceder financiamentos, os bancos e demais instituições devem considerar os impactos e as vulnerabilidades socioambientais dos tomadores de crédito e dos projetos financiados.

O BCB também tem atuado na elaboração de relatórios de riscos e oportunidades sociais, ambientais e climáticas (BCB, 2021b) aumentando a transparência sobre a exposição do SFN a esses fatores.

TABELA 2. Mecanismos regulatórios com foco em sustentabilidade adotados pelo Banco Central Brasileiro.

Norma	Objetivo
Resolução CMN nº 4.943/2021	Integra riscos social, ambiental e climático à gestão de riscos e capital.
Resolução CMN nº 4.945/2021	Institui a Política de Responsabilidade Social, Ambiental e Climática (PRSAC).
Resolução BCB nº 139/2021	Exige o Relatório GRSAC sobre riscos e oportunidades ESG.
Instrução Normativa BCB nº 153/2021	Define estrutura e tabelas padronizadas para o relatório GRSAC.
Resolução CMN nº 5.193/2024	Altera o crédito rural, incluindo impedimentos sociais, ambientais e climáticos.
Resolução CMN nº 5.185/2024	Atualiza critérios contábeis, incorporando aspectos ESG nas demonstrações financeiras.

A visão do BCB é que sustentabilidade e produtividade não são mutuamente excludentes. Pelo contrário, a adoção de práticas sustentáveis pode levar à redução de desperdícios, ao desenvolvimento de processos mais eficientes, ao aumento da produtividade e à atração de talentos, fortalecendo as instituições e a economia a longo prazo. Ao orientar que as instituições financeiras considerem os riscos ESG, o BCB influencia diretamente as políticas de concessão de crédito, incentivando o financiamento de atividades mais sustentáveis e desencorajando aquelas com alto impacto socioambiental negativo ou com má governança.

2.4. A SUSEP E A INCORPORAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NO SETOR DE SEGUROS E PREVIDÊNCIA

A Superintendência de Seguros Privados (SUSEP), como órgão regulador e fiscalizador dos mercados de seguro, previdência privada aberta, capitalização e resseguro no Brasil, também tem avançado na incorporação de critérios de sustentabilidade em suas normativas. O setor de seguros, por sua natureza, lida intrinsecamente com a gestão de riscos. Nesse sentido, os riscos ambientais, sociais e de governança (ESG) são reconhecidos como fatores materiais que podem afetar tanto as seguradoras quanto seus clientes.

Um marco regulatório fundamental nesse sentido é a Circular SUSEP nº 666/2022 (SUSEP, 2022a). Esta circular "dispõe sobre requisitos de sustentabilidade a serem observados pelas sociedades seguradoras, entidades abertas de previdência complementar (EAPC), sociedades de capitalização e resseguradores locais". O objetivo principal é alinhar o setor supervisionado às práticas ESG, promovendo uma gestão de riscos mais abrangente e uma maior transparência em relação às questões de sustentabilidade.

A Circular nº 666/2022 estabelece que as entidades supervisionadas devem desenvolver e implementar políticas de sustentabilidade. Essas políticas devem abranger, no mínimo, a identificação, avaliação, monitoramento, gerenciamento e mitigação dos riscos de sustentabilidade, incluindo os riscos climáticos (físicos e de transição), ambientais e sociais. Além disso, a norma incentiva a consideração de aspectos de sustentabilidade na elaboração de produtos e serviços, bem como nas análises de investimento.

Segundo a própria SUSEP (2022a) essa busca que as seguradoras e demais entidades do setor não apenas gerenciem seus próprios riscos ESG, mas também considerem esses fatores em suas relações com os segurados e no direcionamento de seus investimentos visando a perenidade do negócio. Isso tem implicações diretas na concessão de crédito e no financiamento de projetos, pois as seguradoras são grandes investidoras institucionais. Ao internalizar os riscos ESG, o setor de seguros busca alinhar positivamente as práticas de sustentabilidade de outros setores da economia, seja por meio da precificação de riscos (tornando atividades menos sustentáveis mais caras para segurar) ou pelo direcionamento de capital.

Adicionalmente, a SUSEP atua em outras frentes, como a Resolução CNSP nº 473/2024 (SUSEP, 2024) que estabelece diretrizes para a classificação sustentável de planos de seguro e de previdência complementar aberta, introduzindo selos de sustentabilidade. Esse constitui um critério relevante para a tomada de decisão dos gestores de Fundos de Pensão, uma vez que a natureza desses é preservar o capital investido e gerar rendimentos para uso futuro pelos pensionistas.

2.5. O PAPEL DO PROFISSIONAL BIÓLOGO NO CAMPO ESG

A formação do Biólogo confere um conjunto de competências e conhecimentos que são diretamente aplicáveis ao pilar "Ambiental" do ESG, com interconexõe s com os aspectos sociais e de governança corporativa.

A Resolução nº 374/2015, do Conselho Federal de Biologia, dispôs sobre a atuação do Biólogo em Gestão Ambiental. Essa resolução delimitou a área de atuação do profissional biólogo em diversas áreas, entre elas a empresarial, economia e contabilidade ambiental, conformidade legal, auditoria e risco socioambiental, gerenciamento ambiental, entre outras que são relevantes à atuação em ESG.

No campo de atuação do biólogo, o conhecimento cientificamente acumulado que permite compreender a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, avaliar a biodiversidade, identificar espécies ameaçadas e entender as interdependências ecológicas quando aplicadas no contexto ESG. Para além de atender as questões regulamentares da legislação contribui para diminuir o risco do negócio. Como destacam Addison et al. (2020) as empresas enfrentam crescente pressão para medir, gerenciar e reportar seus impactos e dependências em relação à biodiversidade, criando demanda por profissionais especializados nessa área.

Esta competência se traduz na habilidade de realizar diagnósticos ambientais, avaliar o impacto de projetos sobre a fauna e a flora, e propor medidas de mitigação, compensação e conservação. A crescente valorização do capital natural e a pressão por investimentos que gerem impacto positivo na natureza ampliam essa demanda.

Para a análise de risco de projetos financiados ou segurados, biólogos têm se mostrado cada vez mais requisitados na elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA), laudos periciais e due diligence como se pode perceber pelo aumento nas empresas de consultoria ambiental. Segundo Sánchez (2020) a avaliação de impacto ambiental evoluiu de uma ferramenta técnica para um instrumento de governança ambiental, integrando-se cada vez mais às decisões estratégicas de empresas e governos. Esta ferramenta tem se mostrado cada vez mais relevante para que as empresas e o setor financeiro compreendam e gerenciem os potenciais danos ambientais que suas atividades possam resultar ao seu desempenho econômico, evitando multas, embargos, reparação de danos, ações judiciais e demais prejuízos.

O desenvolvimento e implementação de programas de monitoramento da qualidade da água, do solo, do ar e da saúde dos ecossistemas, utilizando muitas vezes organismos vivos como bioindicadores, são áreas de especial interesse para acompanhar o desempenho ambiental de empresas e projetos ao longo do tempo. Como observam Holt e Miller (2011), os bioindicadores ambientais oferecem uma abordagem integrada e de longo prazo para avaliar impactos ambientais, complementando medições físico-químicas pontuais.

Nesse sentido, esse campo de atuação profissional se alinha com a crescente demanda por dados ambientais confiáveis e de longo prazo, essenciais para a elaboração de relatórios de sustentabilidade e para a avaliação de riscos climáticos e ambientais por parte de investidores e reguladores.

A compreensão dos efeitos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas e a biodiversidade, bem como dos riscos físicos e de transição associados, permite ao biólogo contribuir para a análise de vulnerabilidade e para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação. Segundo o relatório "Biodiversidade e finanças sustentáveis no

Brasil" (HORN, 2024; FGVces, 2022), a integração de riscos relacionados à biodiversidade nas análises financeiras é uma tendência crescente, que exige capacidade de tradução de conhecimento científico em informações relevantes para a tomada de decisão financeira. Isso é particularmente relevante no contexto da Política de Responsabilidade Social, Ambiental e Climática do Banco Central do Brasil (PRSAC-BCB), que enfatiza a necessidade de as instituições financeiras incorporarem os riscos sociais, ambientais e climáticos em suas políticas de gestão de riscos, incluindo a análise de crédito.

Assim, a consultoria ESG representa um campo de oportunidades para biólogos, na qual sua formação técnica pode ser aplicada para ajudar empresas de diversos setores a integrar a sustentabilidade em suas operações e estratégias. Porém, uma formação que inclua aspectos do mundo corporativo pode contribuir para que o recém-formado esteja mais apto para assumir as responsabilidades que esse campo exige. Realizar avaliações ambientais detalhadas de empresas e projetos para identificar riscos, passivos e oportunidades ESG são alguns desses aspectos.

A due diligence ambiental é uma ferramenta que tem se tornado cada vez mais sofisticada, incorporando não apenas aspectos de conformidade legal, mas também riscos emergentes relacionados às mudanças climáticas, à biodiversidade e direitos humanos (PINHEIRO et. al., 2021; ELLER, 2025). Esse campo tem aplicação para identificar riscos tecnológicos (produtos, serviços e processos), riscos comerciais relacionados à escalabilidade do negócio, e riscos financeiros, legais, fiscais e ambientais, bem como para a concessão de crédito e para a subscrição de seguros alinhando-se com as preocupações de gestão de risco do BCB e da SUSEP (SANZ-PRIETO, et. al. 2021). Esta atuação inclui o desenvolvimento de políticas internas de sustentabilidade, planos de ação, sistemas de gestão ambiental, auditorias e identificação de não conformidades (BATTISTELLI; JERANOSKI, 2024).

Segundo Borges (2025), as práticas ESG podem contribuir significativamente com a responsabilidade corporativa no setor de biodiversidade. SION, et.al. (2021) destaca que entre as questões levantadas por investidores para concessão de investimentos sustentáveis está a conservação da biodiversidade, dado que a agenda ESG contribui para que as empresas reconheçam seu papel na proteção ambiental. Nesse sentido, o biólogo pode orientar políticas que ajudem as empresas a desenvolverem e implementarem estratégias para proteger e restaurar a biodiversidade, gerenciar seus impactos nos serviços ecossistêmicos com o foco de reportar dados aos investidores e acionistas.

Entretanto, para analisar a veracidade das alegações ambientais feitas por empresas em seus relatórios ESG junto ao mercado, ou em suas campanhas de marketing, é necessário compreender que a expansão da definição e tipologias de greenwashing reflete o crescimento e complexidade do fenômeno (VIEIRA, et. al., 2024). Segundo Delmas e Burbano (2011), a prática de fazer alegações ambientais enganosas ou exageradas tem aumentado significativamente, criando demanda por verificação independente e tecnicamente fundamentada. Estudos sobre greenwashing na publicidade mostraram que os anúncios têm baixo nível de alegações factuais e muitos apelos emocionais e ambíguos (Baum, 2012; Naderer et al., 2017).

Esta atuação, de identificar e combater o greenwashing, é um dos desafios mencionados no Estudo ESG Financeiro, contribuindo para a confiança por parte do mercado de finanças sustentáveis.

Nesse aspecto a formação de profissionais capazes de realizar auditorias e elaborar laudos periciais ganha uma dimensão no contexto ESG, bem como em demandas judiciais e extra-

judiciais. Perícia que é o procedimento de investigação, feita por um profissional habilitado, que visa provar ou esclarecer um fato, por intermédio de um exame, vistoria e avaliação de caráter técnico e especializado (RIBASKI, 2021). No processo judicial a perícia ambiental é um meio de prova utilizado em processos judiciais onde o objeto de discussão é o dano ambiental, o nexo de causalidade e a extensão do dano (CUNHA; GUERRA, 2012).

Com relação ao conceito de compliance, esse se refere ao conjunto de práticas, normas e procedimentos adotados por uma organização para garantir a conformidade com leis, regulamentos e normas éticas aplicáveis às suas atividades (STANGE; TOPOROSKI, 2024). Nesse sentido, a Resolução CONAMA nº 306/2002 (Brasil, 2002), que trata da Auditoria Ambiental, necessária ao atendimento do compliance, permite avaliar o desempenho de uma empresa em relação ao meio ambiente, a fim de mitigar impactos e promover o desenvolvimento sustentável. Segundo Tolesano-Pascoli, et. al. (2025), o aumento da atenção às questões relacionadas aos temas de ESG tem impulsionado a incorporação de auditorias internas e externas dentro das práticas de governança corporativa, especialmente em relação às regulamentações socioambientais. Dessa forma, as auditorias ambientais evoluíram de instrumentos de mera verificação de conformidade legal para ferramentas estratégicas de gestão de riscos e oportunidades. No contexto ESG esta atuação inclui a identificação de não conformidades e a recomendação de ações corretivas, contribuindo para a melhor monitoramento do desempenho ambiental das organizações e gerenciamento de riscos.

Para tanto, a formação inicial do profissional biólogo se beneficiaria ao instruir sobre como conduzir investigações detalhadas para identificar e caracterizar prévia ou posteriormente passivos ambientais em propriedades ou operações. Segundo Sánchez (2020), a gestão adequada de passivos ambientais é necessária para evitar riscos financeiros, legais e reputacionais significativos. Muitos terrenos, embora com boas características de localização e disponibilidade dos serviços públicos, guardam restrições para novos usos em função de uma potencial presença de contaminações (MARKER, 2008). Segundo esse autor, estas são resultantes de um histórico exploratório dos recursos naturais, de pouco conhecimento e cuidado para com as questões ambientais, em particular da proteção do solo e das águas subterrâneas, além de uma boa dose de negligência. Esta investigação fornece informações de interesse para transações imobiliárias, processos de fusão, aquisição e para a gestão de riscos financeiros alertando investidores e instituições financeiras sobre seu nível de exposição.

2.6. PERSPECTIVAS PARA O MERCADO DE TRABALHO

Com base no já exposto, tem-se aberto um leque de possibilidades profissionais ao biólogo devido a:

a) Crescente Regulação: O aumento da regulação ambiental e climática, tanto no Brasil quanto globalmente, cria demanda por profissionais capazes de auxiliar empresas e instituições financeiras a cumprirem suas obrigações legais e a se adaptarem a um ambiente regulatório em constante evolução.

b) Pressão de Investidores: A crescente pressão de investidores por transparência e desempenho em questões ESG cria demanda por profissionais capazes de avaliar, gerenciar e reportar riscos e oportunidades ambientais.

c) Compromissos Corporativos: O aumento de compromissos corporativos com

metas ambientais, como neutralidade de carbono e impacto positivo em biodiversidade, cria demanda por profissionais capazes de desenvolver e implementar estratégias para alcançar essas metas.

d) Inovação Tecnológica: O desenvolvimento de novas tecnologias para monitoramento ambiental, análise de dados e modelagem de cenários cria oportunidades para biólogos com habilidades técnicas avançadas.

Portanto, elaborar laudos e pareceres técnicos sobre riscos ambientais específicos associados a projetos que buscam financiamento ou seguro constituem habilidades necessárias e crescentes em um modelo econômico que prioriza extração produção e consumo. Segundo o IFC (2024) quando se trata de finanças e biodiversidade, instituições financeiras e investidores necessitam de avaliações técnicas detalhadas para identificar e gerenciar riscos relacionados aos seus portfólios. Esta atuação subsidia a análise de risco e a precificação por parte de bancos e seguradoras, conforme as diretrizes do BCB e da SUSEP, contribuindo para a integração efetiva de considerações ambientais nas decisões financeiras.

2.7. LACUNAS DE FORMAÇÃO E REQUISITOS DE ESPECIALIZAÇÃO

O histórico da formação em ciências biológicas passou por transformações iniciadas nos anos 1970, quando o uso da base ambiental da economia começou a dar sinais de esgotamento e contaminação. O meio ambiente entra definitivamente na pauta política e econômica das nações exigindo acordos internacionais e inovação legal. Diante dos desafios impostos pela globalização da economia no início dos anos 1990 e a intensificação do patamar de consumo de commodities, produtos industrializados e energia por parte de uma população ainda crescente há um agravamento da contradição do modelo econômico e sustentabilidade ambiental. Entretanto, ao longo desse processo, a formação inicial do biólogo por um longo tempo ainda prioriza a docência e a vida acadêmica.

Nesse sentido, de forma geral, parece haver uma lacuna na formação inicial dos biólogos. Há uma concentração na dimensão ambiental da sustentabilidade, porém com pouca ou nenhuma abordagem formal das dimensões sociais, econômicas e políticas. Principalmente quando voltada às necessidades do setor privado da economia. Esta pouca abordagem formativa parece dificultar a inserção do profissional biólogo em contextos que exigem visão interdisciplinar e integrada, como a gestão ambiental pública e, por extensão, a consultoria ESG. Persiste uma certa ausência na formação inicial de elementos interdisciplinares da sustentabilidade e instrumentos de gerenciamento administrativo e político das políticas públicas ambientais que integrem meio ambiente e economia.

Esta lacuna é corroborada por outros estudos, como o de Jacobi et al. (2011), que apontam para a necessidade de uma formação mais interdisciplinar e contextualizada para profissionais que atuam na área ambiental, incluindo biólogos.

Para que o biólogo possa se engajar com maior desenvoltura e disputar o mercado de trabalho nas oportunidades no campo de ESG, uma complementação de sua formação de base ganharia com conhecimentos e habilidades específicas.

Romaro e Salvo (2022) ressaltam que um melhor domínio dos principais padrões de relato e avaliação de sustentabilidade, como os da Global Reporting Initiative (GRI),

Sustainability Accounting Standards Board (SASB), Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), e entender como se conectam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU seriam úteis. Segundo Romaro e Serralvo (2022), a padronização e comparabilidade das métricas ESG são desafios significativos que exigem profissionais com alguma familiaridade com esses padrões. O ISE B3 e as diretrizes do BCB e SUSEP já discutidas acima, apontam para o uso de métricas ambientais, área onde o biólogo detém as habilidades necessárias.

Compreender os fundamentos do mercado financeiro, os diferentes tipos de investimentos sustentáveis (green bonds, fundos ESG), e como os riscos ambientais se traduzem em riscos financeiros é essencial para dialogar com o setor financeiro e agregar valor às análises. MINARDI, (2023) sustenta que as finanças sustentáveis têm obtido destaque na literatura acadêmica, impulsionadas pela crescente conscientização sobre a necessidade da transição verde.

Além disso, um bom domínio da legislação ambiental geral contribui para uma melhor atuação profissional em um campo regulamentar complexo no qual se deve conhecer as regulamentações ESG específicas para os setores em que pretende atuar (ex: setor financeiro, agronegócio, mineração, indústria). Segundo Milaré (2018) o arcabouço legal ambiental brasileiro é um dos mais avançados do mundo, mas sua aplicação efetiva enfrenta desafios significativos. Boa parte dos cursos de graduação em Ciências Biológicas, ainda carece de propiciar uma boa formação nessa área. Área essa que exige que o biólogo possa transitar pelo complexo ambiente regulatório e auxiliar empresas e instituições financeiras a cumprirem suas obrigações legais e a anteciparem tendências regulatórias.

Nesse sentido, uma tendência é a crescente integração entre as agendas de biodiversidade e clima. Para HORN (2024), as soluções baseadas na natureza (SbN) para mitigação e adaptação às mudanças climáticas têm obtido destaque, criando oportunidades para biólogos com conhecimento em restauração ecológica, conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Isso se alinha com iniciativas globais como a Década da ONU para Restauração de Ecossistemas (ONU, 2021) e com o crescente reconhecimento do papel da biodiversidade na resiliência climática.

Ainda sobre tendências, a demanda por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis e materiais convencionais, bem como com a transição para uma economia circular é pauta prioritária nos mais relevantes debates internacionais, as quais têm movimentado organismos internacionais, governos e a iniciativa privada. Segundo Kantola e Zadek (2024), o Brasil tem assumido liderança no estabelecimento da Iniciativa de Bioeconomia do G20, indicando um potencial campo de atuação para biólogos no desenvolvimento de políticas e estratégias nessa área.

Contudo, em se tratando de um contexto hegemônico capitalista, a valoração econômica de serviços ecossistêmicos busca incorporar o valor da natureza nas decisões econômicas e financeiras. Segundo Costanza et al. (2017), a valoração de serviços ecossistêmicos evoluiu significativamente nas últimas décadas, mas ainda enfrenta desafios metodológicos e de implementação.

A dificuldade concreta de compatibilizar desenvolvimento econômico, natureza, direitos humanos e a legislação ambiental tem induzido a um aumento de processos judiciais relacionados a questões climáticas e ambientais, conhecidos como litigância climática. Dentro de um contexto no qual os recursos naturais estão em disputa, diversos ataques à legislação ambiental têm se processado no âmbito dos poderes executivo e legislativo, tais

como a fragilização recente dos mecanismos de licenciamento ambiental, como é o caso do Projeto de Lei nº 2.159/2021. Para Setzer et al. (2022), o Brasil tem experimentado um aumento significativo no número de casos de litigância climática, seguindo uma tendência global. Esta tendência cria demanda por peritos capazes de estabelecer nexos causais entre atividades empresariais e impactos ambientais e climáticos, área onde o conhecimento técnico do biólogo é particularmente necessário.

Em conclusão, para que os biólogos possam captar essas oportunidades no mercado de trabalho de ESG, é sugerido que sua formação inclua uma abordagem interdisciplinar, com ênfase em temas como gestão ambiental, compreensão do setor financeiro e práticas de sustentabilidade corporativa. A integração dessas competências pode facilitar que os profissionais se engajem em um mercado mais preocupado com impactos reputacionais de suas atividades e contribuam para a melhoria do desempenho ambiental e social das organizações ao mesmo tempo em que são atendidas as exigências regulatórias

REFERÊNCIAS

[1] ADDISON, P. F. E.; BULL, J. W.; MILNER-GULLAND, E. J. The development and use of biodiversity indicators in business: an overview. Business Strategy and the Environment, v. 29, n. 8, p. 3451-3467, 2020.

[2] AIDAR, C. M.; BUZANELLI, P. V. M. Responsabilidade solidária transforma bancos em fiscais da legislação ambiental. ConJur, 18 jul. 2016. Disponível em: https://www.conjur.com.br/2016-jul-18/responsabilidade-solidaria-faz-bancos-serem-fiscais-legislacao/#_ftn2. Acesso em: 16 fev. 2025.

[3] B3 S.A. – BRASIL, BOLSA, BALCÃO. 2022 Índice de Sustentabilidade Empresarial. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-eindices/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-de-sustentabilidadeempresarial-ise-b3.htm. Acesso em: 29 maio 2023.

[4] B3. BRASIL, BOLSA E BALCÃO. Diretrizes do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE B3). [S. l.], 2024. Disponível em: https://iseb3-site.s3.amazonaws.com/ISE_B3_-_Diretrizes_2024.pdf. Acesso em: 17 maio 2025.

[5] B3. BRASIL, BOLSA E BALCÃO. Sustentabilidade. [S. l.], 2025. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/antigo/produtos-e-servicos/empresas/governanca-corporativa/sustentabilidade/. Acesso em: 17 maio 2025.

[6] BATTISTELLI, A. A.; JERANOSKI, R. F. A importância da auditoria ambiental como instrumento de apoio à sustentabilidade empresarial no Brasil: uma revisão bibliográfica. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, [S. l.], v. 13, n. 26, p. 122–136, 2024. DOI: 10.22292/mas.v13i26.1153. Disponível em: https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/1153. Acesso em: 29 jul. 2025.

[7] BAUM, L. It's not easy being green… or is it? A content analysis of environmental claims in magazine advertisements from the United States and United Kingdom. Environmental Communication, v. 6, n. 4, p. 423–440, 2012. DOI: https://doi.org/10.1080/17524032.2012.724022. Acesso em: 30 jul. 2025.

[8] BORGES, M.; PAIXÃO, L. ESG e biodiversidade: Um caminho sustentável para empresas. [S. l.], [2025?]. Disponível em: https://biominas.org.br/esg-e-biodiversidade/. Acesso em: 24 fev. 2025.

[9] BRASIL. 10 princípios de alto nível sobre bioeconomia. [S. l.], 2024. Disponível em: https://www.gov.br/g20/pt-br/noticias/g20-chega-a-consenso-e-estabelece-principios-de-alto-nivel-sobre-bioeconomia. Acesso em: 30 jul. 2025.

[10] BRASIL. Banco Central do Brasil. Instrução Normativa BCB nº 153, de 15 de setembro de 2021. Estabelece as tabelas padronizadas para fins da divulgação do Relatório de Riscos e Oportunidades Sociais, Ambientais e Climáticas (Relatório GRSAC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 set. 2021. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Instru%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20BCB&numero=153. Acesso em: 20 jun. 2025.

[11] BRASIL. Banco Central do Brasil. Relatório de Riscos e Oportunidades Sociais, Ambientais e

Climáticas. [S. l.], [2025?]. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/publicacoes/relatorio-risco-oportunidade. Acesso em: 17 jun. 2025.

[12] BRASIL. Banco Central do Brasil. Resolução BCB nº 139, de 15 de setembro de 2021. Dispõe sobre a divulgação do Relatório de Riscos e Oportunidades Sociais, Ambientais e Climáticas (Relatório GRSAC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 set. 2021. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20BCB&numero=139. Acesso em: 20 jun. 2025.

[13] BRASIL. Banco Central do Brasil. Resolução BCB nº 387, de 5 de junho de 2024. Atualiza a Política de Responsabilidade Socioambiental – PRSA do Banco Central do Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2024. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20BCB&numero=387. Acesso em: 16 jun. 2025.

[14] BRASIL. Banco Central do Brasil. Resolução BCB nº 388, de 5 de junho de 2024. Institui o novo Regulamento do Comitê Economia Sustentável – Ecos do Banco Central do Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2024. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20BCB&numero=388. Acesso em: 16 jun. 2025.

[15] BRASIL. Banco Central do Brasil. Resolução CMN nº 4.943, de 15 de setembro de 2021. Dispõe sobre a estrutura de gerenciamento de riscos, a estrutura de gerenciamento de capital e a política de divulgação de informações. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 set. 2021. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CMN&numero=4943. Acesso em: 19 jun. 2025.

[16] BRASIL. Justiça Federal confirma multa aplicada pelo Ibama a banco. Gov.br, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2024/justica-federal-confirma-multa-aplicada-pelo-ibama-a-banco. Acesso em: 1 jun. 2025.

[17] COSTANZA, R. et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? Ecosystem Services, v. 28, p. 1-16, 2017.

[18] CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Avaliação e Perícia Ambiental. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

[19] DELMAS, M. A.; BURBANO, V. C. The Drivers of Greenwashing. California Management Review, v. 54, n. 1, p. 64-87, 2011.

[20] DIAS, M. A.; MACHADO, E. L. Princípios do equador: sustentabilidade e impactos na conduta ambiental dos bancos signatários brasileiros. [S. l.], [2023?]. Disponível em: www.researchgate.net/publication/237110163. Acesso em: 15 maio 2023.

[21] ELLER, K. H. Corporate Environmental Due Diligence and Value Chains. In: A Research Agenda for Environmental Law. [S. l.]: Edward Elgar Publishing, 2025. cap. 12, p. 143-156. Disponível em: https://www.elgaronline.com/edcollchap-oa/book/9781035324408/book-part-9781035324408-18.xml. Acesso em: 29 jul. 2025. DOI: https://doi.org/10.4337/9781035324408.00018.

[22] FEBRABAN. Guia Explicativo da Taxonomia Verde da FEBRABAN. [S. l.], [2025?]. Disponível em: https://www.sbfnetwork.org/wp-content/assets/policy-library/180_Brazil_Explanatory_Guide_to_FEBRABAN_Green_Taxonomy_2021_FEBRABAN_Br.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.

[23] FEBRABAN. Nossa Atuação em Sustentabilidade. [S. l.], [2025?]. Disponível em: https://portal.febraban.org.br/pagina/3059/37/pt-br/responsabilidade-socioambiental. Acesso em: 03 maio 2025.

[24] FEBRABAN. Política de Sustentabilidade da Febraban. [S. l.], 2025. Disponível em: https://portal.febraban.org.br/pagina/3311/12/pt-br/politica-sustentabilidade. Acesso em: 03 maio 2025.

[25] FEBRABAN. Princípios para Responsabilidade Bancária. [S. l.], [2025?]. Disponível em: https://portal.febraban.org.br/pagina/3262/1099/pt-br/principiosresponsabilidadebancaria. Acesso em: 20 jun. 2025.

[26] FGVCES. Panorama do financiamento da biodiversidade no Brasil. São Paulo: FGV, 2022. Disponível em: https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/u641/fgvces_-_stocktaking_brazil_pt.pdf.

Acesso em: 15 jul. 2025.

[27] FISH, A.; KIM, D. H.; VENKATRAMAN, S. The ESG Sacrifice. [S. l.]: SSRN, 2019. Disponível em: https://ssrn.com/abstract=3488475. Acesso em: 10 abr. 2023.

[28] GIESE, G. et al. Foundations of ESG investing: how ESG affects equity valuation, risk and performance. [S. l.], [2023?]. Disponível em: https://www.msci.com/documents/10199/03d6faef-2394-44e9-a119-4ca130909226. Acesso em: 07 abr. 2023.

[29] GUIMARÃES, G. L. E. Gerenciamento do risco socioambiental nas instituições financeiras bancárias no Brasil. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

[30] HOLT, E. A.; MILLER, S. W. Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. Nature Education Knowledge, v. 3, n. 10, p. 8, 2011.

[31] HORN, C. H. V. Biodiversidade e finanças sustentáveis no Brasil. Brasília: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Headquarters: Bonn e Eschborn GIZ, 2024. Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads/biodiversidade-e-financas-sustentaveis.pdf. Acesso em: 27 jun. 2025.

[32] IFC. Guia de Referência de Finanças para a Biodiversidade. [S. l.], 2024. Disponível em: https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2024/biodiversity-finance-reference-guide-pt.pdf. Acesso em: 27 jun. 2025.

[33] JACOBI, P. R.; RAUFFLET, E.; ARRUDA, M. P. Educação para a sustentabilidade nos cursos de Administração: reflexão sobre paradigmas e práticas. RAM. Revista de Administração Mackenzie, v. 12, n. 3, p. 21-50, 2011.

[34] KANTOLA, J.; ZADEK, S. Financiando uma bioeconomia global sustentável. [S. l.]: World Bioeconomy Forum; Nature Finance, 2024. Disponível em: https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2024/08/POR-FinanciandoumaBioeconomiaGlobalSustentavel-1.pdf. Acesso em: 15 jul. 2025.

[35] MACHADO, P. A. L. Direito ambiental brasileiro. 28. ed. rev., ampl. atual. São Paulo: Malheiros, 2018.

[36] MARKER, A. Avaliação ambiental de terrenos com potencial de contaminação: gerenciamento de riscos em empreendimentos imobiliários. Brasília: CAIXA, 2008. 164 p. (Guia CAIXA: sustentabilidade ambiental; Caderno 2).

[37] MILARÉ, É. Direito do Ambiente. 11. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2018.

[38] MINARDI, A. M. A. F. O papel das finanças sustentáveis na transição verde. Revista de Contabilidade e Finanças, v. 34, n. 93, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/1808-057x20239044.pt.

[39] MIRANDA, J. D. C.; REGINATO, A. O. Danos ambientais: da responsabilidade civil e das formas de reparação. Âmbito Jurídico, 2022. Disponível em: https://ambitojuridico.com.br/danos-ambientais-formas-de-reparacao/. Acesso em: 1 jun. 2025.

[40] MONTEIRO, A. A. F.; SANTOS, T. R.; SANTOS, G. C. Índice de sustentabilidade empresarial (ise) e desempenho econômico-financeiro nas empresas da B3. Revista de Auditoria, Governança e Contabilidade (RAGC), v. 8, n. 38, p. 65-78, 2020.

[41] MONZONI, M.; CARREIRA, F. O metaverso do ESG. GV Executivo, v. 21, n. 2, 2022. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/view/85510/80703. Acesso em: 30 jul. 2025.

[42] MONZONI, M.; BIDERMAN, R.; BRITO, R. Finanças sustentáveis e o caso do Índice de Sustentabilidade Empresarial da Bovespa. FGV DSpace, 2006. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/18495. Acesso em: 25 maio 2023.

[43] NADERER, B.; SCHMUCK, D.; MATTHES, J. Greenwashing: Disinformation through green advertising. In: SIEGERT, G.; VON RIMSCHA, M. B.; GRUBENMANN, S. (Eds.). Commercial communication in the digital age. [S. l.]: De Gruyter Saur, 2017. p. 105–120. DOI: https://doi.org/10.1515/9783110416794-007.

[44] ONU. Começa a década da ONU da restauração de ecossistemas. [S. l.], 2021. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/130341-come%C3%A7a-d%C3%A9cada-da-onu-da-restaura%C3%A7%C3%A3o-de-ecossistemas. Acesso em: 15 jul. 2025.

[45] PINHEIRO, M. L.; SÁNCHEZ, L. E.; MONTAÑO, M. Environmental Due Diligence in Brazil: Challenges and Opportunities. Environmental Science & Policy, v. 123, p. 45-53, 2021.

[46] PRINCIPLES FOR RESPONSIBLE INVESTMENT (PRI). About the PRI. London: Unpri, 2021. Disponível em: https://www.unpri.org/about-us/aboutthe-pri#. Acesso em: 10 jun. 2022.

[47] RIBASKI, N. G. Perícia e avaliação ambiental: um olhar pela legislação. Curitiba: Editora Reflexão Acadêmica, 2021. 34 p.

[48] ROMARO, P.; SERRALVO, F. A. (Org.). ESG uma visão plural. São Paulo: PUC-SP, 2022. Disponível em: https://www.facasc.edu.br/Arquivos/ESG%20-%20uma%20vis%C3%A3o%20plural.pdf. Acesso em: 30 jul. 2025.

[49] SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

[50] SANZ-PRIETO, I.; DE-LA-FUENTE-VALENTÍN, L.; RÍOS-AGUILAR, S. Technical due diligence as a methodology for assessing risks in start-up ecosystems: An advanced approach. Information Processing & Management, v. 58, n. 5, 102617, set. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102617. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306457321001138. Acesso em: 29 jul. 2025.

[51] SEMESP. Instituto Semesp. Mapa do Ensino Superior. [S. l.], 2023. Disponível em: https://www.semesp.org.br/mapa/. Acesso em: 26 jun. 2023.

[52] SETZER, J.; CUNHA, K.; FABBRI, A. B. Climate Litigation in Brazil: Trends, Strategies and Challenges. Climate Policy, v. 22, n. 5, p. 554-570, 2022.

[53] SILVA, P. C. Responsabilidade civil por danos ambientais. Âmbito Jurídico, 2017. Disponível em: https://ambitojuridico.com.br/responsabilidade-civil-por-danos-ambientais/. Acesso em: 24 abr. 2025.

[54] SION, A.; COLAÇO, B. M. A.; OLIVEIRA, I. G. S. A regulamentação jurídica da biodiversidade no Brasil à luz dos critérios ESG. ConJur, 2021. Disponível em: https://www.conjur.com.br/2021-jun-02/opiniao-regulamentacao-juridica-biodiversidade-brasil-luz-criterios-esg?imprimir=1. Acesso em: 25 set. 2025.

[55] STANGE, K. T.; TOPOROSKI, E. L. A integração de práticas ESG sob a perspectiva da governança corporativa nas empresas. Academia de Direito, [S. l.], v. 6, p. 3903–3921, 2024. DOI: 10.24302/acaddir.v6.5607. Disponível em: https://www.periodicos.unc.br/index.php/acaddir/article/view/5607. Acesso em: 30 jul. 2025.

[56] SUSEP. Circular SUSEP nº 666, de 27 de junho de 2022. Dispõe sobre requisitos de sustentabilidade, a serem observados pelas sociedades seguradoras, entidades abertas de previdência complementar (EAPCs), sociedades de capitalização e resseguradores locais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 jun. 2022. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/circular-susepn-666-de-27-de-junho-de-2022-411020288. Acesso em: 16 jun. 2023.

[57] SUSEP. SUSEP publica marco regulatório de sustentabilidade. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.gov.br/susep/pt-br/centralde-conteudos/noticias/2022/novembro/susep-publica-marco-regulatorio-desustentabilidade. Acesso em: 07 maio 2023.

[58] TOLESANO-PASOLI, G. V. et al. Uma nova abordagem da auditoria ambiental: a Auditoria de Proteção à Fauna como ferramenta de mitigação pós-desastres socioambientais. Research, Society and Development, [S. l.], v. 14, n. 4, p. e7414448679, 2025. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v14i4.48679. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/48679. Acesso em: 30 jul. 2025.

[59] TOSINI, M. F. C. Risco Ambiental para as Instituições financeiras. São Paulo: Annablume, 2006. p. 21-24.

[60] VARELA, C. A.; HELLU, J. L. A gestão da educação ambiental corporativa voltada para o descarte de resíduos eletroeletrônicos pelas instituições financeiras no Brasil. [S. l.], [2025]. Disponível em: https://engemausp.submissao.com.br/19/anais/resumo.php?cod_trabalho=58. Acesso em: 04 mar. 2025.

[61] VIEIRA, R. B. F. et al. Greenwashing in the global context: a systematic review and analysis of sustainable corporate practices. Aracê, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 15182–15202, 2024. DOI: https://doi.org/10.56238/arev6n4-245. Disponível em: https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2251. Acesso em: 30 jul. 2025.

Capítulo 8

Desempenho sustentável: fundos ESG frente ao CDI e IBOVESPA

Gustavo Gasparetto Choucair
Leonardo Fernando Cruz Basso

"You miss 100% of the shots you don't take. - Wayne Gretzky"
Michael Scott

Resumo: O contexto atual em que o mercado financeiro está passando é de uma transição se comparar há algumas décadas. Hoje com o conhecimento em grau mais difundido quanto às técnicas e práticas no ato de investir, a busca para a tão esperada rentabilidade ascendente da carteira de ativos do investidor se tornou uma realidade para diversos indivíduos e famílias que outrora não tinham o costume poupador em suas residências. Vieses acabam inclinando os investidores para a tática mais adequada, de acordo com o perfil de cada um. E hoje em dia muitos fatores são analisados que não somente balanços financeiros como antigamente. Área de atuação, solidez histórica e até mesmo forma de governança corporativa são detalhes que podem ser chamarizes aos investidores em cada corporação. Fundos de investimentos elevam o seu grau de força como produtos nesse mercado. Isso ocorre, pois, esses tipos de ativos oferecem possibilidades de diversificação, mitigando possíveis riscos. Além disso, possui um gestor responsável capacitado para atingir maiores ganhos de acordo com a estratégia de cada fundo. Os fundos se tornam mais acessíveis para investidores em termos gerais, mesmo que iniciantes, que poderiam vir a ter dificuldades ao acessar mercados e oportunidades macroeconômicas. Outro ponto que corrobora com esse tipo de produto é a liquidez de muitos fundos, que facilita o resgate caso haja o interesse. De acordo com Varga (2006), os fundos de investimentos brasileiros seguem alguns benchmarks como: mercado acionário, flutuação do câmbio, prefixados, inflação e CDI (Certificado de Depósito Interbancário). Por meio deste estudo, será verificado se ativos com o selo ESG acrescentam alguma vantagem ou risco maior se comparar com o histórico do CDI e Ibovespa entre os anos de 2017 até 2023. A amostra inclui os 5 maiores fundos em ativos atualmente cuja estratégia são definidos como ESG. O intuito não será avaliar o gestor do fundo, e sim analisar se o fator que representa o componente ESG ajuda a explicar o desempenho passado do fundo. Após ser levado em consideração a rentabilidade final média dos fundos de investimento versus o histórico dos índices CDI e Ibovespa, o trabalho atesta um risco muito elevado em aplicar na maior parte dos fundos experimentados. A respeito de rentabilidade, resultados destoaram de acordo com cada estratégia. Também foi analisado vide Índice de Sharpe e CAPM para alcançar a hipótese definitiva, comprovando o elevado risco com ainda maior definição.

1. INTRODUÇÃO

Em um passado não muito distante, o público investidor depositava seu foco analisando a rentabilidade histórica e possibilidade de retorno futuro como fatores únicos para definir em qual ativo irá aplicar o recurso. Dado um contexto contemporâneo cada vez mais complexo, algumas outras variáveis são levadas em consideração.

Havendo uma pulverização do conhecimento acerca de assuntos financeiros, em decorrência da facilidade no acesso, encontramos também uma gama muitíssimo elevada em opções de investimentos. Independente do risco atrelado e da dinâmica de prazos e vencimentos, essas opções possuem estratégias particulares.

Alguns produtos de investimento podem levar em conta movimentações de ativos diretos, como títulos de alguma ação específica na bolsa de valores; um conjunto de ações de mesma categoria como Bancos, setor energético ou imóveis por exemplo. Além disso, os produtos de investimentos podem ter como base índices que levam em conta um movimento mais abrangente, como por exemplo o conjunto das ações mais transacionadas em bolsa de valores no Brasil (Ibovespa) ou a oscilação do preço do ouro.

No caso de índices em específico, temos os chamados benchmarks, que é entendido como um indicador com o objetivo de comparar dois ativos. Cada natureza de produto de investimento precisa possuir um *benchmark* que seja adequado de acordo não somente com a proporção de risco que ele irá oferecer, mas também com o tipo de mercado a que a aplicação está inserida e o perfil de risco do investidor (de Oliveira Filho, 2019).

De Oliveira (2021) argumenta que o mercado é eficiente, sendo assim não possível superar *benchmarks* em contexto geral, somente em caso de acidente. Esse pressuposto nos leva a entender que para o investidor, há outras possibilidades de análise além dos resultados em si. Ainda afirma que grandes mudanças nas perspectivas para ativos financeiros muitas vezes exigem uma profunda reflexão e uma reordenação dos percentuais de alocação de ativos. O cenário global é determinante na construção da sua matriz de investimentos.

Além dos fatores mais concentrados em ativos financeiros/mercadológicos, onde temos, por exemplo, a proporção e relevância da empresa em determinado mercado (S&P 500, Ibovespa, Euro Stoxx 50) ou também pela constituição de ativos do mercado imobiliário (IFIX), enxergamos uma forma de categorizar grandes organizações pelo tipo de práticas empresariais (*ESG*).

ESG é a sigla que representa princípios de *Environmental, Social, and Governance* (Ambiental, Social e Governança). Refere-se a um conjunto de critérios que avaliam a responsabilidade e impacto das empresas em relação a questões ambientais, sociais e de governança corporativa.

Segundo Atchabahian (2022), a primeira vez que a sigla *ESG* foi utilizada ocorreu no ano de 2004, com o relatório *Who Cares Wins: Connecting Financial Markets to a Changing World*, criado pelo Pacto Global e também envolvendo instituições financeiras internacionais. Nesse ponto, há um marco sobre o momento que o mercado passa a olhar de forma mais evidenciado a respeito de questões ambientais e sociais no ponto de vista corporativo.

À época, esse novo olhar *ESG* acabou sendo instituído para as organizações que possuíam vínculo junto ao mercado financeiro ou de capital aberto. Inicialmente, houveram críticas na conotação de que essa nova agenda *ESG* pudesse vir a ser uma exterioridade mais

palatável para as grandes corporações justificarem a excessividade em seus lucros, sem de fato possuir o devido compromisso com o cerne da visão *ESG*.

Ter um compromisso rente às questões *ESG* é demonstração do quanto a companhia viabiliza maneiras de minar prejuízos ao meio ambiente, desenvolver um contexto com maior justiça responsável, assegurando os processos de administração de empresa da forma mais adequada possível, segundo as práticas *ESG*.

A prática de investimentos em circunstâncias ecológica e socialmente corretas apresenta-se como opção se comparar aos habituais modelos de investimento. Isso ocorre, pois, estes investimentos devem ser atrativos na ótica de suas repercussões socioambientais favoráveis, além de possuírem viabilidade na visão econômico-financeira. Em resumo, acaba se tornando uma classe de investimento considerado mais consciente ao perseguir respostas para os problemas preocupantes na esfera ambiental e social (Neto et al., 2022).

Se torna evidente que apenas a qualidade dos balanços financeiros não será mais suficiente para obter maior número de investidores, como diz Soler (2023). Condições ambientais, sociais e que remetem à governança se tornam ensejo para empresas que já conquistaram resultados sólidos avancem sequencialmente nessa jornada de implementação.

O investimento em empresas que praticam princípios *ESG* tornou-se imprescindível para os investidores contemporâneos. Isso ocorre porque, de acordo com Ifraim Filho e Cierco (2022), com a aceitação em rápido crescimento de que a ética e a sustentabilidade podem impactar positivamente os ganhos financeiros e a reputação corporativa, investidores tenderão a estar ao lado de uma empresa que espelhe compromisso muito aderente com práticas neste grau de responsabilidade e que tenha uma consideração eficaz dos riscos tomados em todas as questões relacionadas ao meio ambiente, social e empresarial.

Ao passo que a prática vinculada ao *ESG* diz respeito a uma considerável vantagem competitiva, a competência organizacional de gerar efeitos ambientais e sociais vantajosos não é o fator majoritário a ser levado em questão na hora de escolher onde irá investir, mas acaba sendo uma consequência desejável no cenário macroeconômico na atualidade.

1.1. PROBLEMA

Fundos ESG Privados apresentam melhor rentabilidade que o índice CDI e o Ibovespa? Fundos ESG Privados apresentam maior volatilidade que o índice CDI e o Ibovespa?

1.2. OBJETIVO GERAL

Encontrar soluções aos problemas supracitados, levando em consideração diversos tópicos pertinentes na análise de performance dos índices como rentabilidade e volatilidade, colaborando em modos de análises empíricas. Atingindo, então, um aprofundado conhecimento acerca da performance de produtos de investimento que tenham o selo *ESG*, dado em cenário de crescente na procura de ativos financeiros com certificado *ESG*.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Aprofundar acerca de teoria do que trata a pauta *ESG*;

Aplicar fórmulas consolidadas que irão medir a volatilidade de ativos;

Compreender se há diluição de risco ao investir em produtos com selo *ESG*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. STAKEHOLDERS

O termo *stakeholders* é designado ao mencionar o público de interesse, associações ou indivíduos que são influenciados pelas atividades da organização. Alguns exemplos são: clientes, investidores, funcionários, fornecedores, produtores, etc.

Em tempo de nichos tão diversos e públicos com interesses distintos, surge como alternativa agregar os partícipes externos às instituições como forma de gerar ainda mais valor sobre as operações. Por esse motivo, os *stakeholders* são compreendidos como importantes no cenário dos investimentos modernos uma vez que são movimentos estratégicos inclinados à cada público em questão.

Segunda análise de Rocha (2000), essa leitura de negócio tem o intuito de aprimorar a visão organizacional, em que antigamente tinha o objetivo central de corresponder somente à expectativa do investidor final e, agora, então torna a finalidade a ser satisfazer seus públicos de interesse estratégicos, os *stakeholders,* acarretando em um foco mais abrangente que outrora.

Independente do porte e área de atuação, companhias em geral possuem a finalidade de gerar lucro final para as partes envolvidas. Para isso, há a necessidade de buscar constantemente agregar valor em seus produtos, serviços e, principalmente hoje em dia, cada detalhe envolvido no processo organizacional como um todo.

A crescente procura por vantagem competitiva é uma constante no ambiente empresarial. O termo se refere à vantagem de desempenho de certa empresa diante de sua concorrência. Lambin (1987) ressalta que vantagem competitiva concerne à coleção de particularidades ou qualidades possuídas por uma empresa que lhe certificam relativa predominância sobre concorrentes imediatos.

Em sua obra, Aaker (2009) reitera: “Para poder dar respostas às surpresas estratégicas, às ameaças e às oportunidades que surgem de modo repentino, as decisões estratégicas precisam ser apressadas e implementado um sistema administrativo guiado pelo mercado e seu ambiente”.

O envolvimento de uma companhia junto aos *stakeholders* é iniciado a partir do instante que a empresa tem a iniciativa de descobrir o que o *stakeholder* busca, a fim de que os propósitos deste também sejam obtidos.

O público de interesse possui expectativas a respeito da maneira como a empresa irá executar processos e sobre os efeitos que eles esperam receber. No momento em que os *stakeholders* se mostram descontentes com as estratégias e forma de gestão empresarial, a reputação e imagem ética que a empresa construiu, acabam com a possibilidade de ser comprometida. Partindo deste pressuposto, é de suma importância que as empresas tenham em mente as práticas estratégicas que os seus *stakeholders* mais apreciam.

Sobretudo, o principal foco em torno de se realizar a aproximação junto aos *stakeholders* é a busca em conhecer melhor as respectivas formas de pensar, propostas e pontos a serem melhorados. A partir disso, estabelecer estratégias futuras e determinar a maneira mais adequada de realizá-las. Rocha (2000) reforça que não agregaria em nada buscar uma amostra de pessoas para conversar, responder a pesquisas ou participar de grupos de trabalho se a companhia não estiver disposta para tratar dessas informações e apta a mudar projetos, processos e até mesmo produtos finais para se adequar melhor às demandas das muitas partes envolvidas.

Os assuntos a serem discutidos serão determinantes no momento de planejamento de ações engajadoras. Tanto a empresa como os *stakeholders* necessitam ter metas estabelecidas de cada uma das ações e temas a serem abordados e praticados. O tópico escolhido precisa ter certa relevância para a realidade da companhia e, também, para as pessoas chamadas a participar para que o engajamento seja eficaz no final das contas.

Mesmo não sendo mandatório a prática entre as empresas, vemos um número cada vez maior de organizações que publicam seus relatórios de sustentabilidade ou, como é chamado, o balanço socioambiental. Essa forma de comunicação serve para abrir ao público os projetos e as atividades ambientais, econômicas e sociais da empresa de forma equilibrada.

É consenso que relatórios com este teor precisam possuir transparência, ultrapassando somente a intenção de informar, e sim cultivar o intuito de disponibilizar para os interessados as respectivas informações relevantes. Isso faz diluir a prática de publicar apenas aquelas informações impostas por advento de leis ou regulamentos, resultando em clima de confiabilidade, tanto internamente quanto nas interações com terceiros.

Seguindo este raciocínio, os indicadores econômicos e financeiros da companhia acabam perdendo força e os pilares sustentáveis alavancam maior destaque como protagonistas em muitas ocasiões junto ao público de interesse. Com as preocupações relacionadas aos *stakeholders* sendo elevadas, vemos propostas estratégicas de diferenciação empresarial com rumos que ultrapassam os resultados contábeis organizacionais.

2.2. ESG

Atualmente nas organizações, a abordagem do *ESG* (do inglês *Environmental, Social and Corporate Governance*) é assunto cada vez mais relevante na rotina e discussões dentro das corporações, independente da área de atuação.

A implementação sólida em governança corporativa, e o aprimoramento de práticas vinculadas ao caráter ambiental e social se destacam exponencialmente nos mais diversos setores econômicos. Não é difícil verificar práticas que atuem com sustentabilidade devido obrigação legal, porém com o aumento da demanda do comércio em geral e de sociedade que busca cada vem mais por produtos e empresas com ações sustentáveis, o *ESG* ganha muito espaço nas corporações (Trennepohl, 2023).

Um dos objetivos mais pertinentes da governança corporativa é minimizar eventuais conflitos ao que tange os atores responsáveis pela administração, controladores e acionistas. Isso ocorre por meio do monitoramento compartilhado que é estabelecido pelos acionistas majoritários de determinada empresa/corporação, levando os administradores a tomarem decisões sobre alocação dos recursos de acordo com o interesse dos proprietários.

Compreendido como fator preponderante aos investidores, a forma de governo de cada instituição se torna a cada dia mais relevante. Muitos dos resultados obtidos acabam sendo produto da governança corporativa da empresa (Rocha; França; Eleuterio, 2017). A ausência de clareza nesse assunto em uma empresa (ou conjunto de) pode ocasionar resultados catastróficos para a economia, como a crise de 2008 (Roque, 2018), analisando um cenário mais macro.

De acordo com Giacomelli et al (2017), a designação do termo governança corporativa consiste em junção de práticas empresariais que possuem como base os princípios em comum adequados em escala global desde os anos 1990. É compreendida como um sistema de relações, conjunto de práticas em geral que tem como fim principal relacionar as atividades de gestão empresarial para com a sustentabilidade da companhia. Busca alinhar os resultados finais em busca do sucesso sustentável.

Os autores Attig, El Ghoul et al. (2013) concluem que empresas que aderiram essa prática, tendem a obter um nível de credibilidade maior no mercado. Isso se dá por demonstrarem uma maior eficácia financeira e operacional, risco de apresentarem conduta antiética diluído e possuírem melhores trocas junto aos seus acionistas. Operações estas que resultam em melhores ratings de crédito, o que, ocasionalmente, resulta em menores custos de financiamento.

Assuntos que permeiam a sustentabilidade são postos na atualidade como fator fundamental em decisões dentro de empresas. Indicadores que apresentam sustentabilidade real dentro das organizações são cada vez mais enaltecidos, valorizados e discutidos em debates organizacionais. Fato que essa importância alcança até Bolsas de Valores ao redor do mundo, tornando as ativos de empresas *ESG* mais interessantes aos investidores que se comparar com corporações não inclinadas a este assunto (Costa et al, 2021).

Ao passo que temas relacionados a investimentos cresce em relevância, há crescimento no entendimento detalhado de cada ativo a ser investido. Ao analisar empresas listadas em bolsa de valores ou que buscam crédito por meio de intermediadores bancários, o *ESG* surge como um divisor de águas no que tange em gestão responsável de cada instituição analisada. E isso aumenta muito sua relevância no ponto de vista do mercado.

De forma semelhante que ocorre no mercado interno, é possível concluir que muitos outros países também experimentam situações de maturação e implementação diferenciadas nesse tema. Existe robusta literatura para a consolidação de adequações sobre termos a serem utilizados e transparência ao considerar as questões de sustentabilidade na gestão de ativos, como por exemplo debatem Ulrich (2016) e Casado (2025) em suas respectivas obras. Porém, novas referências para metodologias são elaboradas com o passar do tempo. Dados, métricas, indicando que a definição de critérios deve considerar a possibilidade de uma evolução constante nesse receituário.

Práticas *ESG* possuem responsabilidade suficiente perante o mercado a ponto de investidores contemporâneos preferirem aplicar seus recursos em empresas com este "selo" de gestão. Isso se dá pela seriedade que é levada a cartilha de boas práticas das empresas com este modelo de operação. Não diz respeito somente ao resultado final, e sim, a perenidade e sustentabilidade do cenário macro com os tópicos mencionados anteriormente.

Muitos mercados internacionais vêm acumulando alta constante no volume de investimentos com práticas *ESG*. De acordo com o relatório bianual elaborado no ano de

2021 pela GSIA (*Global Sustainable Investment Alliance),* o estoque de investimentos *ESG* atingiu o total de US$ 35,3 trilhões em 2020, representando aumento de 15% se comparar com 2018. Comparando com mercados externos citados no relatório (Europa, Estados Unidos, Canadá, Japão, Austrália e Nova Zelândia), esse volume diz respeito a 36% da totalidade dos ativos geridos profissionalmente.

No cenário nacional, já são muitas regulamentações que permeiam assuntos *ESG*. A mais conhecida, em vigor, é a Resolução 4.945, do CMN (Conselho Monetário Nacional). Dispõe sobre as diretrizes que devem ser observadas no estabelecimento e na implementação da Política de Responsabilidade Socioambiental pelas instituições financeiras e demais instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil.

Em cenário internacional, as discussões na União Europeia são as que se encontram em estágio mais avançado. No ano de 2018, houve o anúncio de um plano de ação, com linhas de trabalho voltadas para as questões das finanças sustentáveis e, atualmente, algumas já estão em fase final de implementação. Entre elas, podemos destacar a criação de uma regulamentação com a classificação de atividades sustentáveis, visando tornar as informações mais homogêneas; e a atualização da Diretiva União Europeia 2016/2341, tornando obrigatória a divulgação, por parte dos investidores institucionais e gestores de recursos, de como abordam as questões *ESG* em suas análises de risco.

No ano de 2020, a Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa), elaborou um método que lista as empresas que possuem o compromisso com práticas *ESG*. Esse movimento acaba se tornando uma forma de distinguir e elevar a classificação das companhias que se comprometem com as boas práticas de gestão. O índice leva em consideração critérios com base em práticas ambientais, sociais e de governança para, então, filtrar empresas brasileiras dentro de uma carteira. Dentro destes critérios, encontramos a aderência aos Dez Princípios do Pacto Global na área de Direitos Humanos, Trabalho, Meio Ambiente e Anticorrupção.

Desde janeiro de 2022, vigora na autorregulação da ANBIMA o documento “Regras e Procedimentos para Identificação dos Fundos de Investimento Sustentável (IS)”. O tratado em questão elenca critérios e requisitos a fim de identificar fundos de ações ou de renda fixa como fundos de investimento sustentável. Tais fundos precisam atestar de maneira formal o compromisso com a sustentabilidade, além de adotar medidas regulares que sejam compatíveis com o alcance e o monitoramento desse objetivo, dando transparência a essas características ao investidor e ao público em geral.

Essas novas regulações fazem com que, mesmo que não tenham o objetivo de sustentabilidade, os fundos de ações e de renda fixa que praticam as medidas compreendidas como *ESG* se destaquem daqueles que não possuem essas práticas, tornando pública essa condição nos meios de marketing adequados.

2.3. INDICADORES

Em investimentos no geral, há duas categorias mais evidentes para categorizar cada título. São elas os ativos de renda variável e os de renda fixa.

Na classe de renda variável, obtemos uma oscilação maior (como o nome já diz), sendo vinculado com o mercado mobiliário de ações, sobretudo em ambiente de bolsa de valores. Resultados acabam sendo mais voláteis, pois são levados em consideração fatores como rentabilidade, imagem, mercado e liquidez. Isso faz com que a previsão em torno

desses ativos seja muito delicada em um cenário de curto prazo, independente da área de atuação.

Um ativo no mercado pode ser compreendido como de renda fixa a partir do momento em que os seus retornos oferecidos ao adquirente são conhecidos no ato da aplicação.

Segundo Lima (2015), os investimentos em renda fixa podem ser classificados como os prefixados, em que os juros totais são estabelecidos durante todo o período da operação contratada (sem levar em consideração o andamento do cenário econômico); ou pós-fixados, que ocorre quando há um indexador de preços atuando como balizador em torno do ativo contratado. Esse indexador pode ser o IGP-M, IPCA, TR ou CDI, por exemplo.

Algo que pode variar e é fundamental ao levar em conta os ativos considerados de renda fixa são as alterações nas taxas de juros. Outra situação arriscada associada à renda fixa é a inflação ocorrida no período de seu retorno, uma vez que ela corrige alguns títulos públicos, por exemplo, e possui maior porcentagem nos títulos prefixados.

O CDI em termos percentuais é um indexador em uso bastante amplo nos investimentos brasileiros. Ao analisar histórico de fundos de investimentos ou sites de comparação de ativos, verificamos que vários, ou então a grande maioria deles apresentando o andamento de ativos descritos em percentual do CDI. Bancos, por sua vez, majoritariamente costumam oferecer produtos de renda fixa, como por exemplo o Certificado de Depósito Bancário (CDB), na modalidade pós-fixada, com a sua rentabilidade atrelada a uma porcentagem de CDI.

Ohanian (2005) entende que, em decorrência de um histórico de taxa juros considerados elevado, o investidor do Brasil leva em conta o percentual do CDI ao invés do retorno absoluto. Sendo assim o percentual de CDI torna-se uma orientação em termos pertencentes ao da rentabilidade ou custo de uma operação, o que explica sua utilização como um tipo de benchmark.

Outra interpretação para a vasta utilização do CDI, é que ele permite aos gestores das instituições financeiras embasar as suas operações a um referencial semelhante, permitindo maior clareza na análise do desempenho, ou até mesmo uma facilidade maior ao comparar as taxas oferecidas por instituições financeiras distintas.

Já outro indicador com muita relevância em cenário nacional, o índice da Bolsa de Valores de São Paulo (Ibovespa) é o indicador mais relevante que leva em conta o desempenho das variações das ações transacionadas no mercado nacional. O Ibovespa foi criado no ano de 1968 partindo de uma carteira acionária teórica, descrita em pontos. O primeiro valor foi de 100 pontos, espelhando sua pontuação atual a variação ocorrida na carteira desde 1968.

> O objetivo básico do Ibovespa é o de refletir o desempenho médio dos negócios à vista ocorridos nos pregões da Bolsa de Valores de São Paulo. A carteira teórica do índice procura retratar, da melhor forma possível, o perfil dos negócios realizados na Bovespa. É considerado um indicador do retorno total das ações que o compõem, apurando não somente as variações dos preços, mas também a distribuição dos proventos. Com o objetivo de atualizar a amostra, tornando-a mais representativa do mercado bursátil, periodicamente a Bolsa de Valores procede à atualização de sua hipotética carteira de ações, incluindo os papéis mais representativos do último período e excluindo aqueles com menor participação. (NETO, Alexandre Assaf. Mercado financeiro. Atlas, 2003.)

De quatro em quatro meses, a bolsa realiza uma reavaliação do mercado acionário, analisando o desempenho dos títulos mais primordiais e levando em consideração um histórico passado de 12 meses. Esse método é estabelecido com o intuito de encontrar possíveis modificações nas proporções das ações, gerando, então, nova carteira teórica que parte das participações relativas encontradas no período analisado.

O índice é apurado de forma instantânea, e leva em conta as operações transacionadas com ações que foram realizadas no mercado à vista em tempo real, tendo também a sua divulgação publicada de forma on-line.

Para chegar ao denominador em pontos que é tornado publicado pelo Ibovespa, determina-se a quantidade do produto de cada ação composta em sua carteira técnica, e o respectivo preço médio em que o papel foi transacionado pelo mercado.

A composição da carteira irá priorizar títulos que possuem maior representatividade nas transações em ambiente de Bolsa de Valores, alcançando assim um percentual considerável do total operado no mercado à vista. A cada ação, atribui-se um peso, que irá representar sua proporção no volume de negócios da carteira.

Para acompanhar o mercado de ações, o índice dessas operações acaba se tornando de grande utilidade, uma vez que reflete o desempenho de operações acionárias e, consequentemente, tendências econômicas. Se baseando em oscilações periódicas, conseguimos estabelecer vários ciclos, que podem ser valiosos para compreender o andamento da economia de formato mais abrangente.

Com o intuito de alcançar o volume negociado de cada ação, é feito o cálculo com periodicidade de 12 meses de um indicador conhecido como Índice de Negociabilidade, que considera uma ponderação do número de negócios operados e volume financeiro em relação ao total de negócios e volume transacionado no período.

A fórmula abaixo representa como chegar ao cálculo do Índice de Negociabilidade para uma determinada ação, de acordo com Rocha et al (2023):

$$IN = \frac{\sum_{i=1}^{p} \sqrt{\frac{n_a}{N} + \left(\frac{V_a}{V}\right)^2}}{P} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

IN = índice de negociabilidade.

na = número de negócios com o ativo a no mercado a vista (lote-padrão).

N = número total de negócios no mercado à vista da B3 (lote-padrão).

Va = volume financeiro gerado pelos negócios com o ativo a no mercado à vista (lote-padrão).

V = volume financeiro total do mercado à vista da B3 (lote-padrão).

P = número total de pregões no período.

Para ser incluída no Ibovespa, as ações precisam atender aos seguintes requisitos:

Ser considerada na soma do índice de negociabilidade dentro de 85% desse indicador;

Ter representado, no mínimo, 0,1% do total de negócios (volume) dos últimos 12 meses;

Ter sido objeto de negócios em pelo menos 95% dos pregões;

Não seja classificada como *"penny stock"*, ou seja, deve ter cotação superior a R$ 1,00.

2.4. RISCOS E VOLATILIDADE

Ao dado momento em que for realizar a escolha de um ativo, todos os investimentos estarão sujeitos a riscos. No mercado financeiro, o risco é baseado na chance existente de insucesso de um certo evento, ou seja, é relacionado com a dúvida de alcançar o resultado que se espera. Por isso, existem classificações distintas para o risco a ser tomado, já que o risco escolhido está diretamente relacionado com as características de cada investidor. Para Jorion (2003), risco é definido como a variabilidade de resultados inesperados.

O investidor que está disposto a realizar aportes em eventos com maior risco, como por exemplo, investir em títulos acionários de elevada volatilidade, é denominado um *risk lover*, ou seja, um investidor mais inclinado à possibilidade do risco. Já os investidores que escolhem não obter risco mais elevado, acabam optando por ativos com chances menores de insucesso. Esses investidores são os conhecidos como avessos ao risco. No meio termo dessas duas extremidades, existe o investidor neutro ao risco, que irá se preocupar somente com o retorno (Rocha et al, 2023).

O que conhecemos como retornos são os ganhos ou perdas que o investidor obterá resultantes de sua aplicação no investimento. Os retornos possuem relação com o risco tomado e com o valor total de recurso investido, além de variáveis que podem fugir do contexto somente da aplicação em si, como por exemplo o cenário macroeconômico.

Para calcularmos o retorno de um investimento, basicamente é a diferença simples entre ganho obtido e o montante aplicado. Na bolsa de valores, os ganhos podem ser alcançados sobretudo com a diferença entre o preço de compra e o preço da venda, ou seja, atingindo a valorização dos títulos. Ademais, os investidores podem ganhar também com o recebimento de proventos periódicos, como juros sobre capital próprio e dividendos.

Em termos econômicos propriamente ditos, Higgins (2014) aponta que até mesmo banqueiros têm a ideia de que todas as decisões financeiras relevantes envolverão tanto risco quanto retorno. Dessa forma, um investimento que necessite de dispêndio de recursos, hoje, apresentará expectativas de lucros desconhecidos.

O risco é visto também nas incertezas dentro de cenários onde não há a possibilidade de previsão, como por exemplo crises econômicas, mudanças regulamentares em operações. Isso não apenas dentro do Brasil, mas também no cenário econômico ao redor do mundo. Risco não se trata somente de fenômeno local. Ele irá atingir inúmeras regiões mundo afora. Pode ser concebido e refletido por meio de formas completamente distintas, a depender do grau de intensidade. Existem os riscos inesperados e que são impossíveis de serem previstos.

As incertezas acabam por provocar variações nos ativos do mercado financeiro. Essas variações podem ser maiores ou menores, a depender da sensibilidade que o investimento possui em relação aos fatores de riscos.

Fatores de riscos constituem em variáveis no mercado que acabam estimulando dispersões nos procedimentos e desempenhos futuros dos ativos. Como exemplo, temos a flutuação do câmbio, inflação do período, taxas de juros (Selic, no Brasil), entre outros. Possíveis prejuízos que se originam da dinâmica desses fatores de riscos podem ser alcançados de acordo com a análise de seu histórico, onde poderá ser visto períodos que possuem uma volatilidade maior ou menor ao longo do tempo.

Lima (2015) reforça que com o intuito de compreender a proporção de risco em cada ativo, é útil obter uma análise de risco a fim de estar ciente da sensibilidade do investimento realizado. Ao realizar que há risco existente, chegamos à exigência de se fazer uma análise desse risco.

Sendo assim, permeando sempre o interior das probabilidades, um acontecimento que certamente irá ocorrer, analisando fielmente o estudo de cálculo das probabilidades, é compreendido como completamente seguro. Dessa forma, quando um evento possuir certo grau de incerteza, será estabelecida, com base nesse valor, a correspondente probabilidade de ocorrência do evento examinado (Securato, 2007). Sendo assim, para alcançar o resultado do grau de incerteza, deve ser levado em consideração que este está fortemente conectado à probabilidade de ocorrência dos eventos em determinada análise de causalidade.

Catástrofes econômicas originaram o desenvolvimento de instrumentos e ferramentas a fim de se obter mensuração do risco mais assertiva. Tais instrumentos possuem domínio de uso da métrica da volatilidade, vinculado em nível de certeza que pode até causar certa expectativa de sua possibilidade de ocorrência.

A demanda de determinar e gerir riscos no mercado de renda variável provém da conveniência de se obter um norte se os lucros que eram alcançados em estratégias de investimentos no mercado de renda variável não serão anulados por potenciais prejuízos em razão da oscilação que o mercado poderá apresentar.

Como resultado de um cenário onde houve avanço dos ativos de investimentos de forma ascendente, o mercado enxergava grande necessidade de uma medida que visa avaliar riscos e que, além disso, pudessem ser comparáveis entre si.

O modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) é o modelo que visa precificar ativos mais difundido no mercado financeiro. Pela alta aceitação, é também base para a elaboração de outros modelos de precificação. Com o método CAPM há uma gama abrangente de aplicações. É altamente usado no mercado de capitais, ajudando na análise de tomada de decisão em situações onde há risco. Esse modelo torna possível alcançar a taxa de retorno requerida pelo investidor, calcular o custo de capital de uma organização, medir e fazer comparação entre a relação risco e retorno de vários investimentos, além de outras análises.

É proveniente da teoria de diversificação e portfólio de Harry Markowitz, publicada pelo economista na década de 1950 com o artigo "*Portfolio Selection"*. Além disso, se baseia na relação risco-retorno, ou na relação média-variância.

O modelo mencionado foi constituído inicialmente considerando que, em momento de equilíbrio, a possibilidade de rentabilidade de determinado ativo seria semelhante ao retorno de um ativo livre de risco, acrescentado a um valor extra pelo risco assumido (prêmio), que seria resultado da diferença entre o retorno da carteira de mercado e do ativo livre de risco, ponderado pelo beta (coeficiente de risco sistemático), que é a medida de sensibilidade de risco da companhia.

O retorno que é esperado por um ativo é decorrente do risco vinculado ao mesmo e do mercado ao qual esse ativo está atrelado. O fundamento é refletido na fórmula de cálculo do retorno esperado. A fórmula, no entanto, é concebida pelo ativo livre de risco, o coeficiente beta e, por fim, o prêmio de mercado.

No tocante ao ativo que não possui risco, entende-se que é um título que existe no mercado de capital que é isento de riscos, ou considera-se também o que possuir menor risco. No modelo CAPM, é usado como ativo livre de risco algum título público que tenha sua remuneração embasada na taxa de juros (Selic), dessa forma sendo assim o seu risco o da economia do país. No Brasil, utiliza-se como taxa livre de risco a rentabilidade que é esperada da LFT (Letra Financeira do Tesouro), que irá remunerar o investidor a partir da taxa Selic (taxa básica de juros).

Segundo o sexto capítulo da obra de Gujarati (2006), a fórmula principal do modelo é a do retorno esperado de um ativo, definido como:

$$R_i = R_f + \beta \cdot (R_m - R_f) \qquad \text{Equação 2}$$

As siglas em questão são:

Ri = taxa de retorno esperada do ativo (rentabilidade);

Rf = ativo livre de risco;

ß = coeficiente que mede a sensibilidade entre o ativo e o mercado;

Rm = retorno da carteira de mercado.

Outra variável da fórmula do CAPM é do coeficiente Beta, representado da seguinte forma:

$$\beta = \frac{Cov(R_i, R_m)}{\sigma^2(R_m)} \qquad \text{Equação 3}$$

Siglas representadas abaixo:

Cov (Ri, Rm) = covariância entre retorno do ativo e o retorno da carteira de mercado em questão analisada;

σ^2(Rm) = variância da carteira de mercado

Quando se diz respeito a CAPM, o beta é considerado a única forma de medir o risco do ativo, se tornando a relação entre o risco do ativo e o risco do mercado. O risco do ativo pode ser reproduzido pela covariância entre a série histórica de rentabilidade do ativo e a série histórica de rentabilidade do mercado analisado. Por fim, o risco de mercado é representado pelo desvio padrão da série histórica da rentabilidade da carteira do mercado em questão.

O uso do modelo tem o intuito de expor a reação dos valores dos ativos e corroborar ao avaliar um dado investimento, sejam ativos únicos como também para portfolios. Os vereditos financeiros mais essenciais devem ser postos à luz da expectativa de retorno e de risco e das consequências dessa associação ao valor do ativo. Dessa forma, o CAPM é um modelo com amplo uso para ser aplicado em decisões financeiras corporativas e também para ajudar investidores no momento de escolherem onde realizar seus aportes financeiros.

O economista William Sharpe, ganhador do prêmio Nobel de Economia no ano de 1990, foi o criador do índice que leva seu nome. O Índice de Sharpe realiza a mensuração do retorno de uma carteira de investimentos (ou fundo de investimentos) se baseando pela sua volatilidade que, por sua vez, é calculada pelo desvio padrão.

Com essa criação, é possível realizar a comparação de duas carteiras de investimentos e analisar qual delas será considerada a mais eficiente em relação a volatilidade atingida.

Em outras palavras, se as duas carteiras tivessem o mesmo risco total, qual delas teria maior retorno. A conclusão através desta análise é que, entre duas opções, devemos escolher aquela que possui o maior valor para o Índice de Sharpe.

Sua fórmula pode ser descrita da seguinte maneira, vide Lima (2015):

$$IS = \frac{R_{carteira} - R_f}{\sigma_{carteira}} \qquad \text{Equação 4}$$

O que temos aqui é: o retorno do ativo menos a taxa livre de risco de mercado, dividido pelo desvio padrão do ativo analisado (carteira).

Algumas conclusões importantes acerca do índice Sharpe:

Mede a relação risco-retorno de um ativo (ou carteira);

Quanto maior for o índice Sharpe de um ativo, melhor será sua relação risco-retorno;

Para dois ativos que apresentam a mesma rentabilidade, terá maior índice Sharpe aquele que apresentar menor risco;

Para dois ativos que apresentam o mesmo risco, terá maior índice Sharpe aquele que apresentar maior rentabilidade.

A Covariância é uma medida estatística para compreender como uma variável reage em relação a uma outra variável. Se o resultado da covariância for positivo, as duas variáveis analisadas possuem a tendência de oscilar na mesma direção. E seguindo a mesma lógica, sendo o valor da covariância negativo, as variáveis tendem a seguirem direções opostas.

Variáveis independentes diz respeito às que não possuem nenhum tipo de correlação. Nesse caso, elas têm covariância igual a zero. Não é possível comparar a relação linear de dois grupos com unidades distintas.

No entanto, a covariância possui um elemento que pode se tornar dificultador relevante para este tipo de análise: seus valores não possuem padronização, podendo haver variação do infinito negativo ao infinito positivo.

Assim, Pearson (1994) surgiu com solução deste limitador da covariância, conseguindo transformar estes números em uma nova variável que sempre irá estar de -1 até +1, chamada de “Coeficiente de Correlação”. O sinal indicará se há uma relação direta ou inversa entre as variáveis e o número a intensidade. Ou seja, quanto mais próximo de 1 positivo, maior a correlação linear.

Gujarati (2006) afirma em sua obra que, a fim de realizar a análise de duas variáveis, a correlação de Pearson se torna mais objetiva. A fórmula pode ser expressa abaixo:

$$\rho = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:

Cov (X, Y) = a covariância entre variáveis;

σx = desvio-padrão de x;

σy = desvio-padrão de y;

Considerações do coeficiente de correlação:

O coeficiente de correlação sempre tem o mesmo sinal que a covariância;

O coeficiente de correlação é uma medida da relação linear entre duas variáveis;

O coeficiente de correlação é um número puro, não possui nenhuma unidade vinculada;

A correlação não implica necessariamente causalidade.

2.5. FUNDOS DE INVESTIMENTO

Fundos de Investimentos são uma espécie de condomínios que são representados pelos seus investidores, que por sua vez, possuem cotas deste fundo. Os investidores aportam suas fortunas no mercado financeiro por meio de carteiras de títulos e valores mobiliários que são sustentadas por esses Fundos, obtendo o intuito final de alcançarem lucro financeiro em relação ao valor de aplicação inicial.

Para ser organizado em suas operações, os fundos possuem regulamentação própria, e as decisões mais importantes são realizadas a partir de assembleia geral que pode envolver todos os cotistas. Esse produto de investimento é uma outra opção de aplicação de recursos no qual o funcionamento irá depender de autorização preestabelecida da Comissão de Valores Mobiliários (CVM).

Os fundos de investimento irão realizar aportes em ativos financeiros que foram emitidos ou que tiveram negociação mediante autorização da CVM. São alguns exemplos de ativos financeiros: ações, notas promissórias, títulos de dívida pública, contratos derivativos, debêntures, certificados de depósito de valores mobiliários, ouro, certificados ou recibos de depósitos emitidos no exterior com lastro em títulos acionários de emissão de companhia aberta brasileira (De Oliveira Filho, 2019).

Com o intuito de compilar as informações essenciais do fundo, a lâmina é um documento que irá descrever os objetivos que o fundo possui, política de investimentos, risco, rentabilidade passada, taxa de administração e despesas extraordinárias.

Todos os investidores do Fundo são conhecidos como cotistas. Eles operam por meio de cotas que correspondem a pequenas frações do patrimônio líquido do Fundo. Há a possibilidade de compra quando o fundo está aberto. Quando está fechado, por estratégia do gestor, o fundo opera com o recurso já aportado previamente. A liquidação pode ser feita em qualquer momento de interesse do cotista, com o valor sendo creditado dependendo dos prazos de cada fundo.

A pessoa responsável por escolher os ativos financeiros a serem compostos na carteira do Fundo é o gestor. Ele irá traçar uma estratégia de acordo com adequação aos objetivos já estabelecidos para o fundo. Para isso, realiza análise de risco frente ao potencial retorno de acordo com o perfil do Fundo. O gestor pode ser uma pessoa ou um grupo de pessoas especialistas em investimentos

Majoritariamente, o administrador do Fundo de Investimento é uma instituição financeira que irá se responsabilizar pela totalidade dos serviços prestados e pelo bom funcionamento do fundo. Define objetivos do Fundo, regras de funcionamento, políticas de investimento e regulamento.

Custodiante é a companhia responsável para realizar a guarda (custódia) dos ativos do Fundo em nome dos investidores. Pode ser contratada, sendo externa. Além da guarda, o custodiante realiza o exercício dos direitos dos ativos depositados.

A totalidade do patrimônio do Fundo é constituída pelo capital aplicado pelos investidores, sendo rateado em cotas. O desempenho do Fundo, medido pela valorização

ou desvalorização de seu patrimônio, é determinante do valor das cotas, bem como da taxa de retorno dos cotistas. Além dos fundos de investimento que realizam a aquisição de ativos, como títulos do governo, ações, debêntures entre outros, existem também fundos que compram somente as cotas de outros fundos de investimento já em funcionamento no mercado (Fonseca et al, 2007).

Devido ao elevado volume de capital para investimento e necessidade de um profissional capacitado para a gestão, os Fundos de Investimentos são oportunidades para investir em diversas áreas do mercado. Aumenta então a diversificação das carteiras, elaborando eficientemente os ativos financeiros com o objetivo final de potencializar os retornos dado um nível de risco adequado ao perfil, ou diminuir o risco para alcançar retorno esperado.

Possíveis mudanças no regulamento irão depender de validação prévia em assembleia com a convocação geral dos cotistas. Não possui poder de voto o gestor, administrador e funcionários das companhias que tenham relação de vínculo junto à administração do fundo.

O risco e retorno que um fundo pode atingir são relacionados diretamente das classes de ativos que o gestor irá realizar os investimentos. Em fundo de gestão passiva, onde há mais dependência dos indicadores seguidos do que propriamente do gestor, é esperado retorno e risco mais baixos, além de um custo menor também. (Varga, 2011). Já em fundo de gestão ativa, onde o gestor realiza maior número de operações na carteira de ativos, há tendência de custos maiores, de tal forma que os riscos e retornos tenderão a ser mais elevados também.

Ao tratar de fundos que levem em consideração questões *ESG,* que política de investimento esteja vinculada a um índice, são aplicados critérios semelhantes. O compromisso de considerar atitudes *ESG* precisa ter publicação em documento formal, juntamente com sua consistência com o(s) índice(s) escolhido(s). A continuidade e manutenção de estratégia deve ser respaldada em informações com riqueza de detalhes acerca da escolha do índice, a metodologia e possíveis limitações, responsabilidade em relação à sua governança, procedimentos adicionais utilizados na estratégia de investimento *ESG*, e maneiras de monitoramento utilizadas para realizar o acompanhamento dessa estratégia no decorrer do tempo.

As referências mais relevantes a respeito desse compromisso e as respectivas estratégias precisam possuir descrição que seja acessível ao público em geral por meio da documentação do fundo. Algumas sugestões do marco regulatório na Europa incluem: explanações sobre como o índice escolhido ou a performance do fundo vai ser diferenciada de outro obtido com um índice mais abrangente de mercado devido a implementação de questões *ESG*, além de informações e links que sejam úteis em que o detalhamento de informações sobre a metodologia do índice seja esclarecido.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. MODALIDADE DE PESQUISA

Haverá a análise grafista levando em consideração a oscilação temporal dos ativos e índices analisados ao longo dos anos em contexto mensal. O período considerado será do ano de 2017 até o ano de 2023.

A presente pesquisa pode ser classificada como estudo quantitativo por conta do uso de dados numéricos e da aplicação de técnicas estatísticas para a análise dos maiores respectivos fundos *ESG*, histórico de CDI e Ibovespa.

A investigação dos dados será feita de forma empírica, realizando a análise de dados históricos e modelos previamente estabelecidos.

Os dados serão referentes a histórico de rentabilidade e volatilidade dos ativos. Por isso, o estudo é compreendido como descritivo, por objetivar a descrição das características de rentabilidade desses índices em um período especificado (leitura situacional *post-facto*, realização de análise, classificação e interpretação).

Seguimos com atuação comparativa, uma vez que pode ser constatado a semelhança ou discrepância de desempenho entre diferentes índices econômicos. Assim sendo, será realizada a comparação de oscilação de cada índice para com os fundos de investimentos *ESG* dentro do mesmo intervalo temporal. O intuito é verificar se os índices analisados se assemelham ou divergem de produtos *ESG* no mercado, em termos de oscilação.

Outrossim, a pesquisa tem como característica um estudo longitudinal, em consequência de que serão calculadas séries temporais dos índices no decorrer de um período já estabelecido. Tal abordagem possibilita uma análise com maior riqueza de detalhes da oscilação de produtos *ESG* frente aos índices ao longo do tempo.

3.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E HIPÓTESE

Atualmente, tópicos de investimentos e governança corporativa são pulverizados à criticidade de *stakeholders*. Em virtude disso, a temática *ESG* surge como alternativa de compilar esse estudo e comparar com índices já estabelecidos da economia brasileira, levando em conta não só rentabilidade, mas sustentabilidade também.

Ao nos aprofundarmos mais acerca de cenários macroeconômicos, compreendemos a forma que momentos de crise, mudança de governo e estratégias corporativas afetam o mercado e índices de referência, por exemplo. Da mesma forma, questões envolvendo governança corporativa e leis anticorrupção ganham notoriedade em âmbito internacional. Por isso, há teoria suficiente para avançar com a resolução do tema.

O intervalo temporal do estudo se dá entre os anos de 2017 a 2023. Foi compreendida uma oscilação adequada de CDI e período volátil na economia, ainda mais pelos acontecimentos pré, durante e pós pandemia. Fato este que gerou substancialidade ao comparar investimentos pela complexidade de contexto macroeconômico.

Os fundos compilados para estudo precisam ter o selo *ESG*, de acordo com a Anbima. No decorrer da pesquisa, foi verificada a existência de 53 fundos de investimentos com selo *ESG.* No entanto, em todos foram levados em consideração para o cálculo previsto por não possuírem atividade na totalidade do período analisado. Eles precisavam possuir o selo no período integral. Existiram fundos que eram e deixaram de ser e fundos que adquiriram o selo já ao decorrer do intervalo. Por isso, foram classificados fundos que tenham suas operações plenas na janela temporal analisada.

Seguem abaixo:

Tabela 1 – Fundos e respectivas criações

NOME DO FUNDO	DATA DE CRIAÇÃO
SANTANDER ETHICAL AÇÕES SUSTENTABILIDADE SPECIAL IS FIC FI (1)	01/11/2001
PRINCIPAL CLARITAS VALOR FUNDO DE INVESTIMENTO EM AÇÕES (2)	05/01/2010
BB TOP AÇÕES ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL IS FUNDO DE INVESTIMENTO EM AÇÕES (3)	30/11/2005
BB AÇÕES GOVERNANÇA IS FUNDO DE INVESTIMENTO (4)	10/06/2009
BRADESCO H FIA IS SRI (5)	09/09/2009
BNP PARIBAS MASTER CREDITO FUNDO DE INVEST RENDA FIXA CREDITO PRIVADO LONGO PRAZO SUSTENTAVEL IS (6)	08/06/2012

ESG cresceu muito no final da década de 2010, sobretudo como forma de obter transparência, sustentabilidade e impacto social junto às empresas. Por ser tema contemporâneo, a contribuição será de somar com a bibliografia e ter um norte para questões envolvendo comparações com índices já consolidados frente à produtos *ESG*, escasso até então.

Temos então, como hipótese, o pressuposto que ativos que adotam modelo *ESG* apresentam menor volatilidade se comparados com os índices CDI e Ibovespa. Com isso, iremos comparar as rentabilidades para cruzar a resposta definitiva.

Como hipótese relevante, chegaremos à conclusão se fundos ESG privados apresentam rentabilidade superior ao comparar com CDI e Ibovespa e se esses fundos apresentam maior volatilidade que o Ibovespa.

3.3. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

As fontes escolhidas para a dissertação serão de duas naturezas. A primeira, será embasada em cima de literaturas aplicadas ao redor do tema. Seja para compreender pouco mais a fundo a respeito das estratégias e benefícios do *ESG*, ou para captar insights referente às métricas de medição de volatilidade dos produtos.

Além disso, documentos oficiais dos ativos para a análise de suas respectivas rentabilidades históricas serão levados em consideração uma vez que são parte fundamental para captarmos o desenvolvimento no período analisado. Tais documentos são conhecidos como “Lâminas” no mercado financeiro.

A hipótese abordada foi submetida a testes estatísticos, levando em consideração dados históricos de oscilação desses índices. Assim como é visto em todas as hipóteses, este é inicialmente um pressuposto que poderá ser de fato constatado ou desmentido pelas evidências alcançadas no decorrer da pesquisa.

Os índices CDI e Ibovespa serão cruzados com os dados dos fundos de investimentos que, de acordo com a Anbima, possam ser chamados oficialmente de *ESG* e que tenham atividade constatada no período da análise (entre 2017 e 2023). Com isso, os fundos serão

compilados em um único denominador levando em consideração a proporção de cada um baseado em seu patrimônio líquido para ter maior riqueza na apuração.

A partir da apuração desse "histórico comum compilado" de todos os fundos *ESG*, será possível então avançar com as ferramentas mencionadas. Dessa forma, tiraremos o desvio padrão de oscilação para o cálculo preciso da hipótese.

3.4. TÉCNICAS USADAS PARA TRATAMENTO DE DADOS

As análises estatísticas incluíram a utilização de testes de média, desvio-padrão, índices Sharpe, CAPM e correlação, proporcionando uma compreensão abrangente das características de risco de cada índice em comparação com o CDI e Ibovespa.

De acordo com artigos de abordagens semelhantes em relação ao estudo, são ferramentas de medição que nortearão com alta eficácia o cerne da pesquisa. Por esse meio, conseguiremos atingir a resposta para a hipótese com bom grau de confiança.

A coleta das informações, no arco temporal de sete anos, possibilita a leitura de variações sazonais no desempenho dos índices e dos fundos *ESG*. Se torna de extrema valia uma vez que o tivemos vários cenários econômicos no período em questão, podendo analisar o cenário pré pandemia, durante a pandemia, pós pandemia e um momento posterior em que o mercado já retoma situações de normalidade plena, conclusão do ano de 2022 e 2023.

Será feito um balanço dos itens em cima das análises estatísticas. O beta do CAPM indicará a volatilidade dos fundos em comparação com os índices CDI e Ibovespa.

Adiante, alcançaremos o cálculo do índice de Sharpe dos três elementos analisados com o intuito de compreender a relação de risco-retorno de cada um deles. Por fim, colocaremos em prática os envolvendo a correlação entre os fatores para, então, haver maior entendimento se os elementos possuem vínculo atrelados entre si.

Com essas técnicas, será possível alcançar uma definição acerca da hipótese da presente pesquisa, uma vez que definirão com clareza por meio dos testes e técnicas estatísticas.

4. RESULTADOS

Gráfico 1 – Histórico anual dos índices

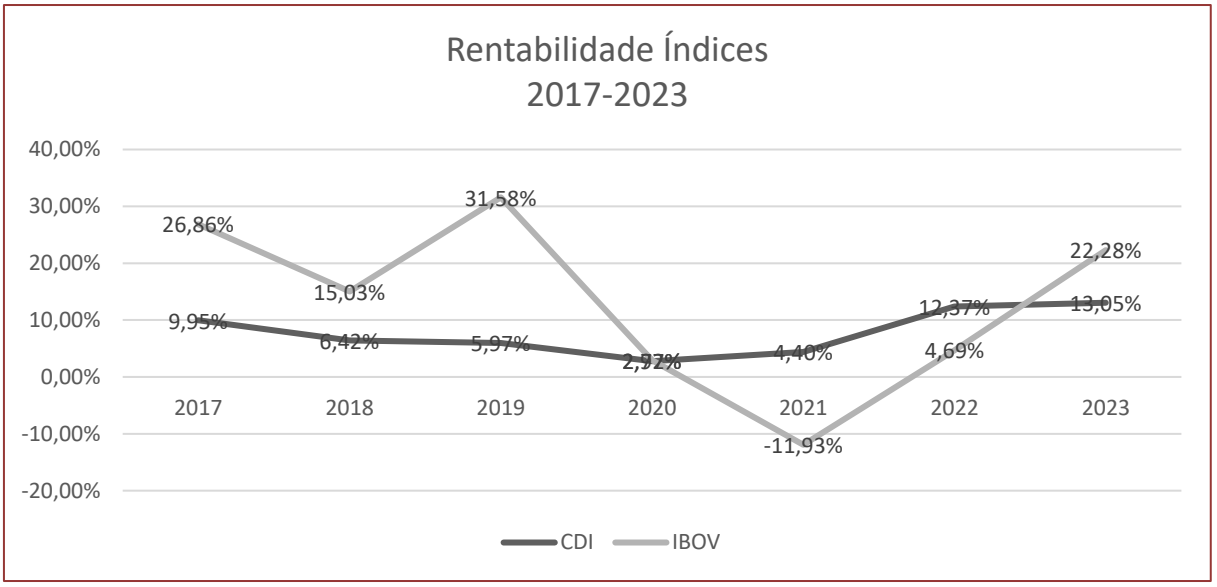


Gráfico 2 – Histórico Mensal Fundo 1

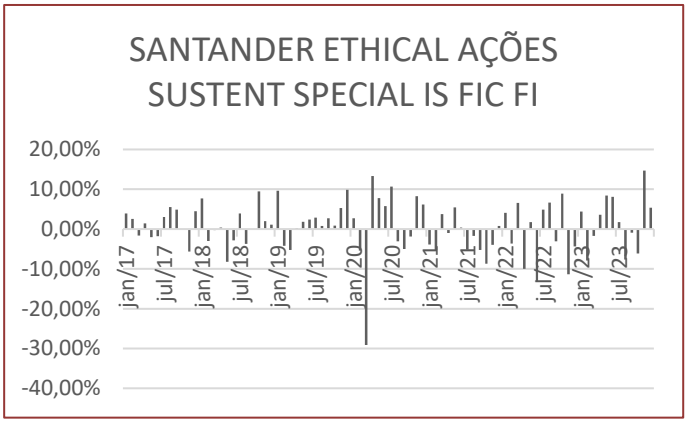


Gráfico 3 – Histórico Mensal Fundo 2

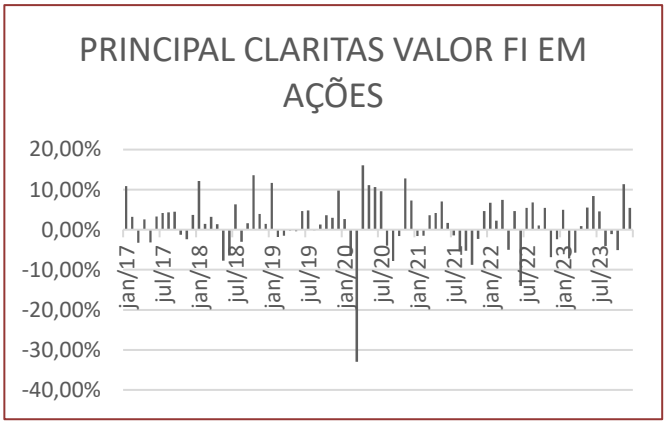


Gráfico 4 – Histórico Mensal Fundo 3

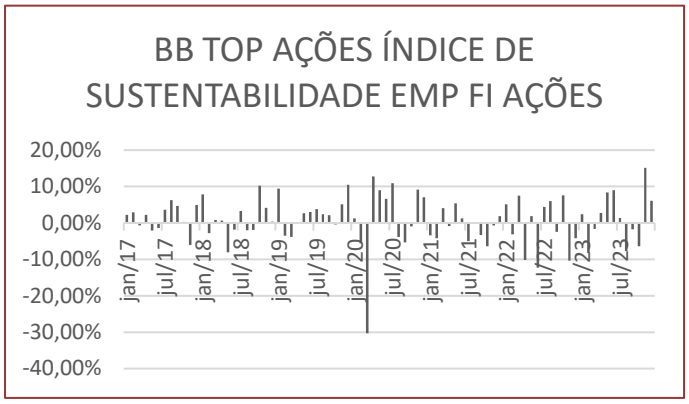


Gráfico 5 – Histórico Mensal Fundo 4

Gráfico 6 – Histórico Mensal Fundo 5

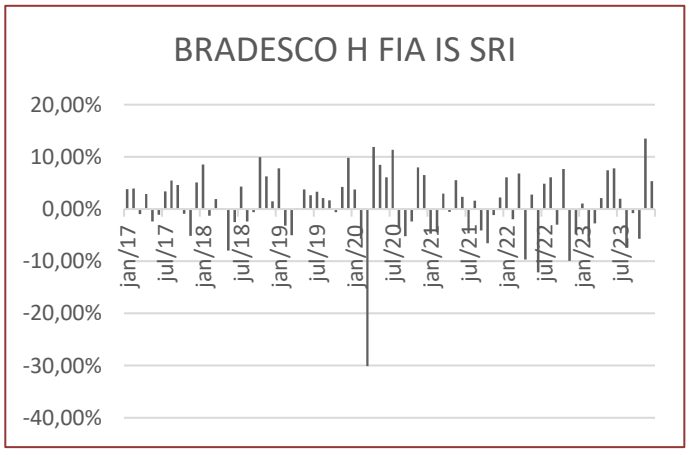


Gráfico 7 – Histórico Mensal Fundo 6

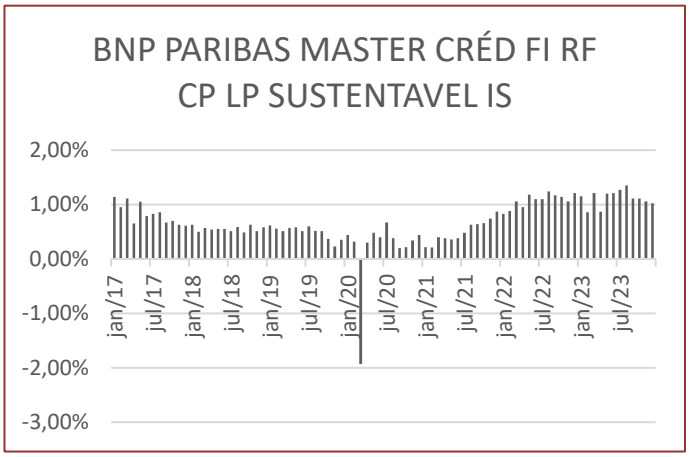


Gráfico 8 – Histórico Mensal CDI temporal

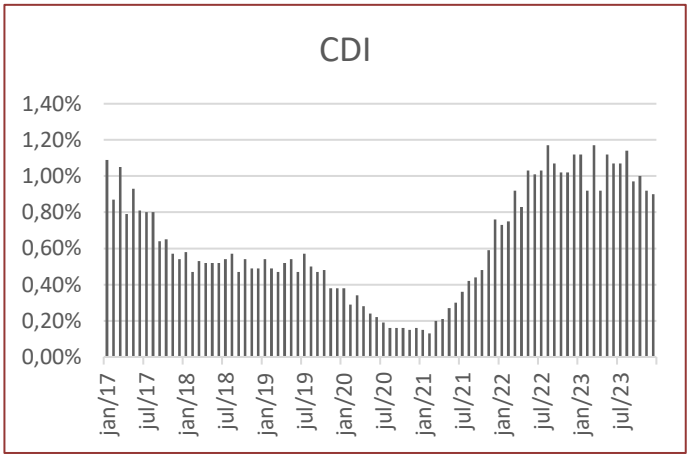


Gráfico 9 – Histórico Mensal Ibovespa temporal

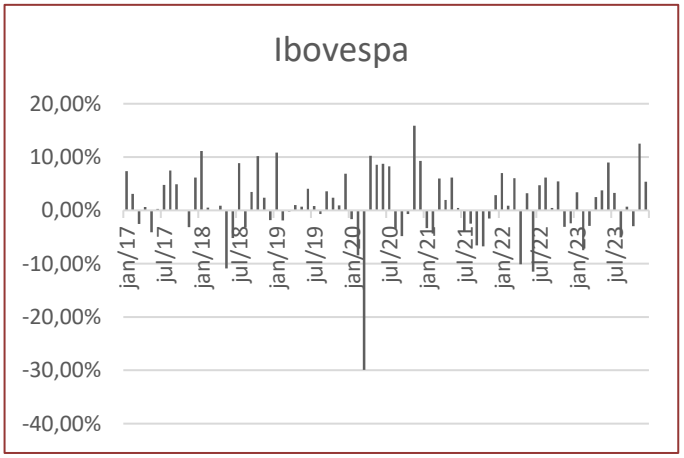


Tabela 2 – Resultados dos índices

Nome Índice	Média Anual	Rentabilidade total	Desvio Padrão
CDI	7,87%	69,00%	0,0462
IBOVESPA	12,03%	122,80%	6,5409

De acordo com os testes elaborados, foi possível alcançar maior clareza acerca do objetivo proposto, encontrando os resultados estatísticos que seguem.

Tabela 3 – Resultados estatísticos por fundo

Nome Ativo	Média anual	Rentabilidade total	Desvio Padrão	Sharpe	Erro Padrão
SantanderEthical (1)	5,03%	27,38%	6,5517%	-6,353	0,007149
PrincipalClaritas (2)	17,67%	195,64%	7,0100%	18,071	0,007649
BBTopAções (3)	8,37%	62,86%	6,5584%	-0,937	0,007156
BBAçõesGovç (4)	12,82%	118,40%	6,5160%	7,582	0,007110
BradFIA (5)	8,73%	68,45%	6,3852%	–0,086	0,006967
BNPMasterCred (6)	8,54%	76,62%	0,42411%	17,972	0,000463

Com os elementos estatísticos acima, foi possível atingir diversas conclusões acerca de cada fundo analisado. Visto que cada um deles possui gestor distinto, portanto, estratégia tal qual, mesmo tendo semelhança de serem compostos de companhias enquadradas no *ESG*, os resultados obtidos demonstraram amplitude.

A média de retorno mensal de cada fundo é reflexo do critério tático individual da gestão. No caso por tratar-se de fundo de investimento e havendo numerosas companhias *ESG* listadas em Ibovespa, cabe ao gestor escolher em quais delas irá aportar o montante do fundo. Os resultados serão fruto do desempenho de cada companhia escolhida, além da proporção de cada uma delas dentro de cada fundo.

Após a apuração, o fundo Principal Claritas foi o que obteve maior média no espaço temporal analisado. Já com o pior resultado médio por ano, temos o fundo Santander Ethical, conforme podemos verificar na tabela e gráfico acima.

Na rentabilidade total acumulada, os resultados foram semelhantes. Um ponto relevante é que o fundo número 6, BNP Master Crédito, atingiu rentabilidade ligeiramente acima do CDI. Veremos a frente que este fundo teve tem maior aderência estratégica junto ao índice mencionado. Isso leva a entender que o fundo superou o seu *benchmark*. Da mesma ótica, temos o Principal Claritas superando o Ibovespa, seu *benchmark*.

Na tabela 2, foi possível enxergar que mesmo em meio a tanta oscilação no Ibovespa, neste período ele ainda assim ultrapassou o CDI com boa distância. Importante frisar que o período da pandemia foi o de menor registro de uma taxa Selic na história - até a publicação deste artigo (junho de 2025). O índice ficou por cerca de 7 meses sob uma taxa anual de 2%. Isto posto, certamente foi fator que derrubou muito o desempenho do CDI no intervalo.

Indo ao desvio padrão dos ativos analisados, alcançamos a resposta que explica o grau de dispersão temporal de cada um de acordo com cada uma das médias. É de se observar uma uniformidade na maioria dos resultados, com exceção do fundo nº 6. Isso se dá pelo

método escolhido de *benchmarks.* Os fundos de 1 a 5 são mais inclinados ao Ibovespa, tendo estratégia alinhada em sua maioria à Bolsa de Valores. Nota-se maior volatilidade da Ibovespa frente ao CDI. Ou seja, maior oscilação de resultados. Já o fundo número 6 é considerado conservador por ter bases mais próximas ao CDI, performando com menor oscilação e, em consequência disso, resultando em menor desvio padrão.

Avançando ao índice de Sharpe, metade dos fundos analisados apresentam resultados superiores a zero e, então, considerados chamarizes para a respectiva aplicação dos investidores que levarem em consideração este método. Destes fundos, o Principal Claritas (6) é o que foi verificado maior coeficiente no período e, levado isso em conta, demonstra melhor resultado neste indicador. Já a outra metade, com os resultados abaixo do patamar de zero, afastam potenciais novos aportes haja visto este elemento por não ser compreendido como compensatório na leitura de risco e desempenho obtido no intervalo temporal do estudo.

Concluindo esta tabela, vemos o erro padrão, que serviu de base para os cálculos que veremos a seguir.

Tabela 4 – Beta e CAPM x CDI

Nome Ativo	MRP (β)	CAPM
SantanderEthical (1)	-0,007906	0,69180
PrincipalClaritas (2)	-0,006357	0,67903
BBTopAções (3)	-0,008655	0,69061
BBAçõesGovç (4)	-0,009304	0,68667
BradFIA (5)	-0,009054	0,69005
BNPMasterCred (6)	0,0028399	0,69078

Vide coeficiente beta, encontra-se semelhanças ao ser cruzado com os dados históricos do CDI no período, indicando conclusivamente falta de vínculo dos ativos para com o indicador. Sobre o fundo 6, conforme mencionado que haveria estratégia mais próxima ao CDI, o próprio resultado foge do padrão dos demais, ainda que de maneira muito ínfima. No entanto, pelo fato da necessidade de possuir em carteira títulos que sejam privados (empresas *ESG*), e não somente públicos de renda fixa, resulta em distância do beta com o indicador.

Seguindo com o modelo de precificação de ativos de capital (CAPM) sendo um instrumento teórico essencial para esclarecer a relação entre o risco de determinado ativo e o seu retorno esperado. O modelo atribui que há proporção entre o retorno de certo título ao prêmio de risco de mercado (MRP), convencionado por um beta específico que captura a sensibilidade do título ao risco de mercado.

Como consequência da irrisória diferença entre o beta, enxerga-se uma elevada semelhança no denominador final ao tratar os dados. Em suma, pela exagerada oscilação dos fundos frente ao CDI, é de se esperar um retorno que seja entre a partir de 67,9% (fundo Principal Claritas) para compensar o risco tomado em comparação com o índice em questão.

Tabela 5 – Beta e CAPM x Ibovespa

Nome Ativo	MRP (β)	CAPM
SantanderEthical (1)	0,92	0,30685
PrincipalClaritas (2)	1,01	1,97005
BBTopAções (3)	0,92	0,63353
BBAçõesGovç (4)	0,98	1,17370
BradFIA (5)	0,89	0,68508
BNPMasterCred (6)	0,02	0,69171

Contrapondo o resultado anterior, ao comparar com o Ibovespa, temos um beta muito mais ajustado para com a maior parte dos fundos. Isso se dá pela composição dos ativos escolhidos pelo gestor, que embasam relação apurada para com o índice da bolsa de valores. Destoando novamente, o fundo nº 6 é cabalmente o mais distante de ter uma estratégia vinculada ao Ibovespa. Isso se dá pela escolha do gestor em optar em seguir premissas *ESG*, no entanto em um critério mais de crédito privado. Ou seja, o fundo foge da oscilação presente em Bovespa e atua com empresas *ESG*, porém apostando com estratégia de renda fixa, e não renda variável.

Concluindo o CAPM dos ativos versus o Índice da Bolsa de Valores de São Paulo, nota-se maior diferença do retorno esperado frente ao risco tomado pela estratégia de que se trata. O resultado reflete uma proeminente oscilação no índice ao comparar com o anterior. Isso demonstra factualmente volatilidade mais notória do Ibovespa frente ao CDI.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como foco principal examinar as concepções primordiais no que tange o *ESG* associados aos índices com maior disseminação no mercado financeiro brasileiro no decorrer de um período de 7 anos, entre 2017 e 2023, englobando uma amostra total de 84 resultados mensais, como forma de enriquecer o respaldo em cima do tema.

Após vasta leitura e direcionamento teórico, a metodologia aplicada abrange abordagem longitudinal com algumas associações, que são: (I) resultado obtido das rentabilidades mensais; (II) análises comparativas estatísticas; (III) a testes estatísticos provindos dos respectivos retornos; (IV) indicadores Sharpe; à sensibilidade de risco quanto à volatilidade e quanto à perspectiva de rentabilidade quando comparado com o prêmio de mercado (MRP); utilização do método CAPM, possibilitando parecer mais apurado da variação de rentabilidade periódica.

Sendo assim, foi realizada a análise de performance de fundos de investimento que possuem o selo *ESG* em comparação a dois *benchmarks*: CDI e Ibovespa. O intuito foi de compreender se o fato de fundos obterem qualidades específicas de instituições com forte vínculo às questões ambientais, sociais e de governança resultam em perspectivas superiores na ótica de investidores se comparados com os dois índices mais utilizados no Brasil.

Como forma de distinguir este estudo dos demais, temos a utilização das ferramentas mencionadas com o foco dentro de fundos de investimento *ESG* comparativamente aos índices CDI e Ibovespa, levando em consideração diversos instrumentos cruciais na

conjectura de performance em termos de rentabilidade e de oscilação. Por isso, colabora objetivamente no que tange a estudos empíricos e dispositivos estatísticos com riqueza de dados e elementos pertinentes à partícipes da academia e a integrantes do mercado financeiro.

Partindo para as conclusões, iniciamos afirmando que uma das respostas obtidas foi que apenas dois dos seis fundos de investimento com selo *ESG* no intervalo temporal do estudo possui rentabilidade superior ao CDI. Trata-se do Principal Claritas e o BNP Paribas Master. Já em comparação ao índice Ibovespa do período, somente o Principal Claritas ultrapassa a rentabilidade do IBOV.

Avançando às análises que corroboram com a abordagem de volatilidade, dividimos em duas as percepções realizadas. Iniciando com a oscilação dos fundos de investimento frente ao CDI, não foi encontrado prêmio de risco que seja vantajoso ao investidor em nenhum dos fundos *ESG*. Por mais que foi possível verificar rentabilidades superiores dos fundos, a oscilação irregular teve sintetiza risco em demasia para com o CDI.

Já nos resultados cruzados com o IBOV, foi possível verificar resultados mais amplos. O Santander Ethical foi o único dos fundos de investimentos a ter um CAPM considerado vantajoso frente ao IBOV. Ademais, não foi encontrado nenhum prêmio de risco que tenha feito sentido a realização do aporte em comparação com a taxa livre de risco.

Mesmo não havendo desfecho satisfatório no sentido de demonstrar retornos vantajosos e diluição na oscilação durante o período analisado para com fundos *ESG*, as definições alcançadas podem: (a) dissipar o ingresso de temas *ESG* em fundos de investimento; (b) estimular novas estratégias para aplicar corporações *ESG* no âmbito de investimentos; (c) provocar curiosidade a respeito dos critérios *ESG* para que sejam afirmativamente elaborados e pulverizados.

5.1. LIMITAÇÕES

Torna-se relevante frisar que todos os resultados encontrados dizem respeito a uma janela temporal específica. A janela, ainda, presenciou um evento pandêmico que é impossível não vincular com o desfecho do estudo. Muito da oscilação e instabilidade econômica, principalmente no Ibovespa, deu-se pelo agravante da pandemia da Covid-19.

Além disso, foram utilizados um total de 6 fundos de investimento, limitando uma possível visão mais macroeconômica do problema, ocasionando em não geração de amostra abundante para aplicação de metodologias mais robustas oriundas da econometria.

5.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Projetos na área de investimentos que permeiam índices *ESG* são absolutamente bem-vindos na sociedade moderna, visto ser um assunto tão contemporâneo. Isso não somente em território nacional. Nos Estados Unidos, já com uma cultura investidora bem presente no cidadão médio, pode-se encontrar o S&P *ESG* 500, que é composto por empresas que pertentem ao S&P 500.

Semelhantemente, foi possível vislumbrar oportunidades de aprofundamento como por exemplo a longevidade de empresas que adotam práticas *ESG*, não somente em âmbito de investimentos. Quais os benefícios e se há estabilidade maior do momento que são

instituídas essas práticas para com o passar do tempo, vide resultados contábeis e geração de valor à marca.

AGRADECIMENTOS

Início esta seção glorificando este projeto a Deus, que me proveu graça para com o decorrer deste estudo. Ele me fortaleceu, fortalece e continua fortalecendo desde muito antes da primeira até muito depois da última página. Não havendo a sua inesgotável misericórdia, nada disto seria minimamente possível de sequer vir ao meu pensamento.

Tenho magnânima gratidão à minha estimada esposa, com quem tive a alegria de ter ao lado e pude compartilhar ímpares momentos ao longo da jornada acadêmica vivida neste período.

Gratidão ao meu excelentíssimo pai, por ter sido (e continuar sendo) objeto catalisador de meu apego aos estudos. Sempre obstinado em estimular crescimento intelectual e desenvolver curiosidade nos mais variados temas.

Agradeço à minha mãe e irmã, que sempre estiveram juntas em apoio ao mestrado.

Muito feliz em poder ter compartilhado horas de aula e estudos com colegas tão brilhantes quanto improváveis. Certamente deixaram o ambiente mais leve, facilitando o processo de absorção do conteúdo. O sentimento de ajuda mútua em uma sala de aula é impagável.

Ademais, gratidão ao excepcional, amigo queridíssimo antes de tudo, professor Daniel Carvalho de Paula, com quem tive ricas trocas no suceder do presente trabalho e admiro como acadêmico do mais valioso quilate.

Sou grato pelo professor e orientador Leonardo Basso, que esteve disposto a sempre caminhar comigo para uma entrega adequada. Juntamente com professor Clayton Araújo, a quem inicialmente foi responsável pela inclinação ao tema no decorrer de suas aulas.

REFERÊNCIAS

[1] AAKER, David A. Administração Estratégica de Mercado 9ed. Bookman Editora, 2009.

[2] ARAÚJO, Elisson Alberto Tavares; DO CARMO OLIVEIRA, Victor; SILVA, Wendel Alex Castro. CAPM em estudos brasileiros: uma análise da pesquisa. Revista de Contabilidade e Organizações, v. 6, n. 15, p. 95-122, 2012.

[3] ASSALI, Nicolau Alfredo. Análise de desempenho e características de fundos de fundos multigestores do mercado Brasileiro no período de setembro/1998 a agosto/2007. 2008. Tese de Doutorado.

[4] ATCHABAHIAN, Ana Cláudia Ruy Cardia. ESG Teoria e prática para a verdadeira sustentabilidade nos negócios. Saraiva Educação SA, 2022.

[5] ATTIG, Najah et al. Corporate social responsibility and credit ratings. Journal of business ethics, v. 117, p. 679-694, 2013.

[6] BORGES, Elaine Cristina; MARTELANC, Roy. Sorte ou habilidade: uma avaliação dos fundos de investimento no Brasil. Revista de Administração (São Paulo), v. 50, n. 2, p. 196-207, 2015.

[7] CASADO, Johny Henrique Magalhães. Finanças sustentáveis, investimentos ESG, valuation e controle de risco. Editora Senac São Paulo, 2025.

[8] COSTA, Edwaldo; FEREZIN, Nataly Bueno. ESG (Environmental, Social and Corporate Governance) e a comunicação: o tripé da sustentabilidade aplicado às organizações globalizadas. Revista Alterjor, v. 24, n. 2, p. 79-95, 2021.

[9] DA SILVA ROCHA, Bruno; FRANÇA, Silvano; ELEUTERIO, Ricardo Lerche. Governança Corporativa e o Triunfo Corporativo: O Impacto no Desempenho das Ações das Empresas que Adotam Práticas de Governança Corporativa. REPAE-Revista de Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia, v. 3, n. 1, p. 96-128, 2017.

[10] DE OLIVEIRA FILHO, Bolivar Godinho. Gestão de fundos de investimento: O seu guia para gestão de carteiras. Saint Paul, 2019.

[11] DE OLIVEIRA, Guilherme Rebouças. Como escolher e administrar seus investimentos: Conceitos, ideias e experiências. Almedina Brasil, 2021.

[12] DE OLIVEIRA, Virginia Izabel; PINHEIRO, Juliano Lima. Gestão de riscos no mercado financeiro. Saraiva Educação SA, 2018.

[13] DUARTE JR, Antonio M. Análise de performance de investimentos. Unibanco Global Risck Management, 2000.

[14] FONSECA, Nelson et al. Análise do desempenho recente de fundos de investimento no Brasil. 2007.

[15] GUJARATI, Dadomar N. Econometria básica. Elsevier Brasil, 2006.

[16] HIGGINS, Robert C. Análise para Administração Financeira-10. AMGH Editora, 2014.

[17] IFRAIM FILHO, Rubens; CIERCO, Agliberto Alves. Governança, ESG e estrutura organizacional. Actual, 2022.

[18] INMAN, Henry F. Karl Pearson and RA Fisher on statistical tests: a 1935 exchange from Nature. The American Statistician, v. 48, n. 1, p. 2-11, 1994.

[19] JORION, Philippe. Value at risk: a nova fonte de referência para a gestão do risco financeiro. Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2003.

[20] LAMBIN, Jean-Jacques; ALEJANDRO MOLLA DESCALS. Marketing estratégico. México: McGraw-Hill, 1987.

[21] LIMA, Fabiano Guasti. Análise de riscos. 2015.

[22] LO, Andrew W.; FOERSTER, Stephen R. Em Busca do Portfólio Perfeito. Alta Books, 2022.

[23] NETO, João Amato et al. ESG Investing: Um novo paradigma de investimentos. Editora Blucher, 2022

[24] OHANIAN, George; EID JR, William. Operações indexadas ao percentual do CDI: precificação e hedge dinâmico usando o contrato DI futuro da BM&F. Encontro Brasileiro de Finanças, v. 5, 2005.

[25] ROCHA, Ricardo H.; CESTARI, Walter; PIELLUSCH, Marcos. Mercado de capitais e bolsa de valores. 2023.

[26] ROCHA, Thelma; GOLDSCHMIDT, Andrea. Gestão dos Stakeholders: como gerenciar o relacionamento e a comunicação entre a empresa e seus públicos de interesse. Editora Saraiva, 2000.

[27] ROQUE, Pamela Romeu. Governança Corporativa de Bancos e a Crise Financeira: Análise comparativa de fontes do cenário brasileiro. Almedina Brasil, 2018.

[28] SECURATO, José Roberto. Decisões financeiras em condições de risco. 2007.

[29] SOLER, Fabrício. ESG (ambiental, social e governança): da teoria à prática. Saraiva Educação SA, 2023.

[30] TRENNEPOHL, Natascha; TRENNEPOHL, Terence. Esg e Compliance-Interfaces, desafios e oportunidades-1ª edição 2023. Saraiva Educação SA, 2023.

[31] ULRICH, Emily. Entendendo os investimentos com base em fatores ESG. S&P Dow Jones Indices: EDUCAÇÃO e Sustentabilidade, v. 101, p. 1-13, 2016.

[32] VARGA, G.; LEAL, RPC. Indicadores de investimentos e de seleção de fundos. Gestão de investimentos e fundos, p. 369-404, 2006.

[33] VARGA, Gyorgy; WENGERT, Maxim. A indústria de fundos de investimentos no Brasil. Revista de Economia e Administração, v. 10, n. 1, 2011.

Autores

AUTORES

JOSÉ HENRIQUE PORTO SILVEIRA (ORGANIZADOR)

Bacharel e licenciado em Psicologia pela UFMG, Especialização em Percepção e Planejamento Urbano. Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental, especialização em educação ambiental. Consultor em percepção e educação ambiental. Sócio diretor da Alternativa Educação e Manejo Ambiental.

ADRIANA GRADELA

Professora Titular do Colegiado de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil

ANDREA MARQUES SOTERO

Professora Adjunta na na área de Nutrição Clínica, Universidade de Pernambuco, Petrolina, PE, Brasil

CARINE ALMEIDA NEVES DE OLIVEIRA

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil

CHRISTIAN MONNI

Possui graduação em Direito pelo Centro Universitário de Barra Mansa (2006), especialização em Direito Processual: Grandes Transformações pela Universidade da Amazônia (2008) e em Planejamento, Implementação e Gestão da Educação à Distância pela Universidade Federal Fluminense e mestrando no Programa de pós-graduação em Engenharia da Produção da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda. Atualmente é assistente em administração da Universidade Federal Fluminense e tutor a distância/administração pública - UFF da Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ.

ELVIS CARISSIMI

Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

FRANCISCO SANTOS SABBADINI

Pós-doutor em Economia Circular e Metabolismo Econômico Regional, pela Universidade de Aveiro, Portugal. Doutor em engenharia de produção pelo Programa de Pós-Graduação e Pesquisa (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (2010), Mestre em Administração e Desenvolvimento Empresarial pela Unesa (2005), Especialista em Gestão da Qualidade pela Associação Educacional Dom Bosco (1998), Bacharel em Ciências Econômicas pela Associação Educacional Dom Bosco (1997). Professor nos cursos de Engenharia de Produção e de Pós-Graduação em Engenharia da Qualidade, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Pesquisador no grupo de pesquisa em engenharia de produção e gestão industrial e coordenador do Grupo de Pesquisa em Economia Circular, Sustentabilidade e Sistemas na mesma instituição. Coordenador do Laboratório de Inovação Cinova-UERJ e da Iniciativa UERJ-CIRCULAR, orientada para o desenvolvimento de estudos e projetos no campo da economia Circular, Simbiose Industrial e indústria 4.0. Professor no Programa de Mestrado em Engenharia de Produção (PPGEP) na Universidade Federal Fluminense (UFF) em Volta Redonda.

FRANCISCO SANTOS SABBADINI

Pós-doutor em Economia Circular e Metabolismo Econômico Regional, pela Universidade de Aveiro, Portugal. Doutor em engenharia de produção pelo Programa de Pós-Graduação e Pesquisa (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (2010), Mestre em Administração e

AUTORES

Desenvolvimento Empresarial pela Unesa (2005), Especialista em Gestão da Qualidade pela Associação Educacional Dom Bosco (1998), Bacharel em Ciências Econômicas pela Associação Educacional Dom Bosco (1997). Professor nos cursos de Engenharia de Produção e de Pós-Graduação em Engenharia da Qualidade, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Certificação em Circular Economy Specialist (High Mastery), École des Ponts (2025). Pesquisador no grupo de pesquisa em engenharia de produção e gestão industrial e coordenador do Grupo de Pesquisa em Economia Circular, Sustentabilidade e Sistemas na mesma instituição. Coordenador do Laboratório de Inovação Cinova-UERJ e da Iniciativa UERJ-CIRCULAR, orientada para o desenvolvimento de estudos e projetos no campo da economia Circular, Simbiose Industrial e indústria 4.0. Professor no Programa de Mestrado em Engenharia de Produção (PPGEP) na Universidade Federal Fluminense (UFF) em Volta Redonda. Desenvolve projetos de simulação em serviços de saúde. É membro do EURO Working Group on Operational Research Applied to Health Services (ORAHS) e da International Society for the Circular Economy (IS4CE). Diretor do Centro de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica George Eastman - Parque Tecnológico - UERJ no período de 2020 a 2022 e de 2024 até o momento.

GABRIELA LEMOS DE AZEVEDO MAIA

Professora Associada do Colegiado de Farmácia, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil

JANDIRA LEICHTWEIS

Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPGIPH), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

JORGE DAVID ALGUIAR BELLIDO

Professor da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, departamento de Engenharia Química.

KELLY ALONSO COSTA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense, mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense e doutorado em Engenharia Civil. Atualmente é professor Associado da Universidade Federal Fluminense, Polo de Volta Redonda, pertencente ao Departamento de Engenharia de Produção. Atualmente é a Coordenadora do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - Mestrado Profissional da Universidade Federal Fluminense (PPGEP) em Volta Redonda. Também atua como professora do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental da UFF (PGTA). Tem experiência em Sustentabilidade, Avaliação em ciclo de vida, resíduos, modelagem computacional, Sistemas de Informação, Indústria 4.0 e Estatística. É integrante do Comitê Assessor de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação - CAPPI/PROPPI/UFF e do Comitê Multidisciplinar de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação CMPPI/PROPPI/UFF

LETÍCIA FABRIS

Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

LISBETH ZELAYARAN MELGAR

Professora da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, departamento de Engenharia Química.

AUTORES

MARIA EDUARDA HALFELD SENA ALVES

Possui graduação em Engenharia de Agronegócios pela Universidade Federal Fluminense (2025). , atuando principalmente nos seguintes temas: mudanças climáticas, expectativa de vida, impactos, óbitos e classificação.

MARIA ELISA RODRIGUES DA SILVA

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com pós-graduação em Gestão de Projetos, e atua como Assistente Administrativo na Nissan do Brasil.

MARIA LUIZA RODRIGUES DA SILVA

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com pós-graduação em Gestão da Qualidade, e atua como Analista de Desenvolvimento de Veículos Especiais na EDAG, junto à Volkswagen.

NATHÁLIA WIGGERS PAIVA

Aluna de graduação da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, departamento de Engenharia Química.

NAYARA FONSECA DUTRA

Aluna de graduação da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, departamento de Engenharia Química.

ROBERTA FERNANDA DA PAZ DE SOUZA PAIVA

Possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2002), mestrado em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (2005) e doutorado em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Estadual de Campinas (2010). Atualmente é professora associada da Universidade Federal Fluminense, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (UAB). Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia dos Recursos Naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: Valoração Ambiental e Economia da Saúde.

SALATIEL WOHLMUTH DA SILVA

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPGIPH), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson